Aus der Augenklinik und -Poliklinik der Freien Universität Berlin
im Städtischen Krankenhaus Westend
Direktor: Professor Dr. med. Hugo Gasteiger

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE VERSCHMELZUNGS-FREQUENZEN INTERMITTIERENDEN LICHTS UND DIE FLIMMERADAPTATION IM GANZEN GESICHTSFELDBEREICH BEI NORMALEN AUGEN

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Klaus-Jürgen Pesch
aus Drossen

1961

Druck:

Ernst - Reuter - Gesellschaft
der Förderer und Freunde der Freien Universität e.V.

Dissertations - Druckstelle

Berlin-Dahlem, Garystr. 45, Tel.: 76 52 61, App. 668

Aus der Augenklinik und -Poliklinik der Freien Universität Berlin
im Städtischen Krankenhaus Westend
Direktor: Professor Dr. med. Hugo Gasteiger

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE VERSCHMELZUNGS-FREQUENZEN INTERMITTIERENDEN LICHTS UND DIE FLIMMERADAPTATION IM GANZEN GESICHTSFELDBEREICH BEI NORMALEN AUGEN

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Klaus-Jürgen Pesch
aus Drossen

Dekan: Professor Dr. med. Helmut Selbach
Referent: Priv. Doz. Dr. med. Eberhard Kleberger
Korreferent: Professor Dr. med. Hugo Gasteiger

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 20. 2. 61

Herrn Karl-Hinrich Schinckel und seiner Frau Irma
in Dankbarkeit
gewidmet

ÜBERSICHT

EINLEITUNG

1) Begriffserklärungen: Intermittierendes Licht, Verschmelzungsfrequenz (VF), Flimmeradaptation (FA).

2) Klärendes zu den Fragen:
   - A) Über die die Verschmelzungsfrequenz (VF) beeinflussenden Faktoren.
   - B) Über den Ort der Verschmelzung.
   - C) Über die Flimmerperimetrie und ihre Einordnung in die allgemeine Perimetrie.
   - D) Über frühere Messungen der VF im Gesichtsfeld.
   - E) Über die Flimmeradaptation (FA) und ihre Bedeutung für die VF-Messung. Faktoren, die die FA beeinflussen.
   - F) Über den Ort der flimmeradaptativen Verschmelzung.
   - G) Über den Einfluß der Lokaladaptation auf die VF.
   - H) Über den subjektiven Eindruck des FA-Ablaufs.

3) Über den Zweck der vorliegenden Untersuchungen.

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

1) Der Apparat zur Erzeugung intermittierenden Lichts.
2) Die konstanten Untersuchungsbedingungen und -verläufe:
   - A) Zum Erhalt eines konstanten Adaptationsgrades.
   - B) Zur Vermeidung einer zu starken Ermüdung der VP während der Untersuchung.
   - C) Bei der VF-Messung.
   - D) Bei der FA-Zeit-Messung.

UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

1) Allgemeine Angaben über das untersuchte Kollektiv.
2) VF-Messungen im ganzen Gesichtsfeld verschiedener Augen:
   - A) Ausdehnung des Flimmergesichtsfeldes.
   - B) Meßergebnisse, deren Schwankungsbreiten und mittleren Fehler.
3) VF-Messungen im ganzen Gesichtsfeld eines Auges an verschiedenen Tagen. Meßergebnisse, deren Schwankungsbreiten und mittleren Fehler.
4) FA-Zeit-Messungen im ganzen Gesichtsfeld verschiedener Augen. Meßergebnisse und deren Schwankungsbreiten.
5) Mitteilung einiger sonst nicht berücksichtigter Fälle.

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

1) Über die VF-Messungen verschiedener Augen.
2) Über die VF-Messungen eines Auges an verschiedenen Tagen.
3) Über die FA-Zeit-Messungen.
4) Über die Frage plötzlicher VF-Senkungen während der Flimmeruntersuchung.
5) Über die Frage der Zweckmäßigkeit, das ganze Gesichtsfeld flimmerperimetrisch zu untersuchen.

ZUSAMMENFASSUNG

LITERATURVERZEICHNIS

EINLEITUNG

1) Begriffserklärungen: Intermittierendes Licht, Verschmelzungsfrequenz (VF), Flimmeradaptation (FA).

Wird ein kontinuierliches Licht in regelmäßigen Abständen unterbrochen, erhält man intermittierendes Licht (intermittierend = in regelmäßigen Abständen aussetzend; Duden 1926). Vor allem nach der Unterbrechungsweise des Lichts können zwei grundsätzliche Methoden geschieden werden, intermittierendes Licht zu erzeugen. Zum einen kann ein kontinuierliches Licht wechselnd abgedeckt und freigegeben werden, - durch ein Pendel (z. B. Schafhäutl), durch eine rotierende, peripher durchlöcherte Scheibe (z. B. Bellarminow) oder vor allem durch eine ebenfalls rotierende Scheibe, der Sektoren ausgeschnitten wurden (Exner, Creed, Granit, Teräskeli, Hylkema, Le Grand und Geblewicz, Weekers und Roussel u. a.). Zum anderen kann das Licht durch regelmäßiges Ein- und Ausschalten zur Intermittenz gebracht werden (Miles, Kleberger u. a.). Ferner sei erwähnt, daß einige Untersucher auch in schwarze und weiße (z. B. Rupp) oder in verschiedenfarbige (z. B. Müller) Sektoren geteilte Scheiben zur Erzeugung eines Flimmereindrucks verwandten, indem sie sie in Drehung versetzten.

Die Frequenz der Unterbrechungen, d. h. die Anzahl der das intermittierende Licht charakterisierenden Lichtblitze in der Zeiteinheit, bestimmt den Eindruck, den das Subjekt von der intermittenden Belichtung erhält: Geschieht der Hell- Dunkelwechsel langsam (deutlich getrennte Hell- Dunkelphasen) wird flackerndes-, geschieht er häufiger, so daß der Eindruck "huschender Schatten" (Tschermak) herrscht, wird flimmerndes Licht empfunden. Steigert man nun die Frequenz eines Flimmerlichts weiter, weicht der flimmernde Eindruck bei einer bestimmten Höhe - der Verschmelzungsfrequenz (VF, v. Kries) - einer kontinuierlichen Impression. Miles sagte über diese Eindrucksänderung: "Es ist klar, daß, falls ein zweiter Lichtblitz erscheint, bevor das gerade ablaufende visuelle Geschehen des ersten vorbei ist, der zweite nicht gesondert wahrgenommen wird." Es ist die "Reaktionsträgheit des Sehorgans" die Ursache für das Verschmelzen der intermittierenden Reize (Tschermak). Vermindert man wiederum die Frequenz des verschmolzenen, scheinbar kontinuierlichen Lichts, so tritt eben unterhalb der VF Flimmern auf.

Ein Phänomen, das bei längerer Betrachtung des Flimmerlichts auftritt, ist die Flimmeradaptation (FA). Der deutlich flimmernde Reiz konstanter Frequenz wird nach einer Weile der indirekten Betrachtung verschmolzen. "Diese besondere Weise der Ermüdung oder Umstimmbarkeit des Auges bezeichnet man als Flimmeradaptation." (H. Müller) Ist diese Ermüdbarkeit pathologisch gesteigert, spricht man von Flimmerasthenopie. H. Müller, der mit einer Scheibe untersuchte, die, in verschiedenfarbige Sektoren geteilt, bei Drehung einen Flimmereindruck hervorrief, trennte die Flimmer- von der Lokaladaptation an konstante Reize. Bei Darbietung des Flimmereindrucks erlebten die Versuchspersonen (VPp) zunächst die flimmeradaptative Verschmelzung zu einem kontinuierlichen Lichtreiz, der wenige Sekunden später infolge der Lokaladaptation im Umfeld verschwamm, so daß er nicht

mehr wahrgenommen wurde ("genereller Niveaueffekt"). "Flimmer- und Lokaladaptation sind nicht identisch, aber eng und untrennbar miteinander verbunden." Die Lokaladaptation läuft an der unterhalb der VF rotierenden Scheibe in zwei Phasen ab: während des Flimmerns (wo sie langsamer verläuft, als wenn der Reiz homogen wäre) und dann nach der durch FA erfolgten Verschmelzung.

Riddell (1935) schloß aus seinen Versuchen, in denen er nach Belieben stetiges oder flimmerndes Licht darbieten konnte, die FA könne nicht von einer Adaptation an die hellen Phasen des Flimmerns herrühren, sondern es scheine, daß die Adaptation an das Flimmern und nicht an das Licht geschehe. Demnach ist die FA ein Anpassungsvorgang eigener Art. Granit und v. Ammon hatten jedoch (1930) den VF-Abfall eines flimmernden Reizes bei Fixation durch 6 Sekunden als Prozentabfall von der Ausgangshelligkeit des Reizes angegeben und damit angenommen, daß die "local adaptation" ein Phänomen sei, das der Lokaladaptation an kontinuierliches Licht im Prinzip gleich ist.
Die Lokaladaptation an flimmernde Reize untersuchten Monjé und Bernsdorff (1952). Sie maßen die Zeit zwischen dem Darbieten des Reizes und dem Einsetzen des generellen Niveaueffektes.

Von einigen kritischen Stimmen abgesehen, - es sei nur an die Ablehnung der Braunstein'schen klinischen Untersuchungen des Gesichtsfeldzentrums durch Hessberg (1909) erinnert, - ist die Methode der VF-Bestimmung vor allem zur Diagnose von Affektionen der visuellen Leitungswege und der Sehrinde anerkannt worden.

Miles (1949) schrieb, die VF sei ein stabiles, reproduzierbares Phänomen, das bei ungeschickten und unbegabten Patienten leichter erhalten werden könne als die Sehschärfen- oder die gewöhnliche Gesichtsfeldbestimmung. Kleberger (1955) gab ebenfalls an, daß die Patienten mit wenigen Ausnahmen die Untersuchung des Gesichtsfeldes mit intermittierendem Licht zur Feststellung der Verschmelzungsfrequenzen (=Flimmerperimetrie) weniger anstrengend und ermüdend fanden als die gewöhnliche Perimetrie am Förster- oder Goldmann-Perimeter. Fernerhin wurde die Flimmerperimetrie von Miles, Havener (1954) und Kleberger bei den für diese Methode in Frage kommenden Fällen (s. o.) als empfindlicher bezeichnet als die gewöhnliche Gesichtsfelduntersuchung.

2) Klärendes zu den Fragen:

A) Über die die Verschmelzungsfrequenz (VF) beeinflussenden Faktoren.

Die VF eines Netzhautpunktes wird in Blitzen pro Sekunde = Hertz (Hz) angegeben; es wird somit eine Netzhautfunktion durch eine Zahlenangabe repräsentiert. Um reproduzierbare Werte zu erhalten, müssen die Untersuchungsbedingungen so weit als möglich konstant gehalten werden, wozu die Faktoren erkannt sein wollen, welche die Höhe der VF beeinflussen. Kleberger hatte diese Faktoren ausführlich zusammengestellt (Habilitationsschrift), weshalb sie lediglich aufgezählt sein sollen. Er teilte die Faktoren in objektive und solche von Seiten der Versuchsperson ein, wies aber darauf hin, daß diese Einteilung nicht

streng sei, da "naturgemäß durch Änderung der äußeren Faktoren auch die inneren geändert werden."
Objektive Faktoren sind vor allem:
Intensität des Lichtreizes, Größe des Reizfeldes, Form und Farbe des Reizlichts, Anzahl der Reizlichter, subjektive Helligkeit des Reizeffekts, Länge der beiden Phasen.
Faktoren von Seiten der VP sind vor allem:
Ort der Netzhautreizung, Adaptationszustand, Erregungszustand des gesamten Nervensystems, Durchblutungszustand des Sehorgans.

Best (1951) hielt die VF für abhängig von nur zwei Faktoren: von der Größe der Erregung und der Schnelligkeit ihres Anklingens. Reizlichtstärke, Reizfeldgröße, Netzhautort, Adaptationszustand usw. gab er als die VF nur sekundär beeinflussend an, indem sie die obengenannten zwei Faktoren veränderten.

B) Über den Ort der Verschmelzung.

Die meisten Autoren nehmen die Retina als den Ort für die Verschmelzung an (Teräskeli, Graham und Granit, Enroth, Svaetichin, Svaetichin und Ottoson, Kleberger u.a.) Bartley jedoch glaubte, daß das nervöse System und nicht die photochemische Aktivität der Sinneszellen die Verschmelzung bestimmt. Le Grand fand, daß in der Peripherie des Gesichtsfeldes - mit dem Grade der Peripherität zunehmend - unterhalb der VF intermittierendes Licht in geringerer Frequenz zu flimmern scheine als es tatsächlich der Fall ist. Während der Verschmelzung soll die scheinbare Helligkeit des Reizes zunehmen. Le Grand deutete diese Erscheinungen als Zeichen dafür, daß die Verschmelzung nervös und nicht photochemisch bedingt sei.

Vor kurzem hatte Wedel angegeben, die Flimmer- und Verschmelzungserscheinungen seien verwiegend zentrale Phänomene. Er fand nämlich ein vorübergehendes deutliches Absinken der VF nach Verabreichung eines Ganglienblockers ("P 391" a.d. Gruppe der Phenothiazinderivate. Zentralblockierender Effekt.).
Hylkema vermutete, daß neben der Retina die Großhirnrinde und die optischen Bahnen eine Rolle spielen.

Aufschlußreich erscheinen die elektrophysiologischen Untersuchungen der Retina. Vor allem in jüngster Zeit gewinnen diese Forschungen an Breite. Die Elektroretinographie gibt "einen objektiven Einblick in den Ablauf der retinalen Umwandlungsvorgänge des Lichtes in nervöse Impulse" (Dodt). Für die im Elektroretinogramm - ERG - registrierten summierten Teilströme machte Granit (1942) hauptsächlich die Receptoren und Bipolaren verantwortlich. Ottoson und Svaetichin (1953) schlossen aus ihren Versuchen an rana temporaria, "daß keine anderen Strukturen als die Receptoren eine bedeutende Rolle bei der Bildung des ERG spielen." Sie hatten nach Blockierung der Bipolaren und Ganglienzellen ein ERG ableiten können, das gegenüber dem des intakten Auges keine wesentliche Änderung zeigte. Dodt (1951) wies am Menschen- und Katzenauge nach, daß sich in der sekundären Erhebung

des ERG nicht nur rein retinale, sondern auch pupilläre Vorgänge spiegeln.

Wird die menschliche Retina mit Flimmerlicht gereizt, zeigt das ERG wellenförmig Flimmern an (Bei Bedingungen des Stäbchensehens das Flimmer-ERG der Stäbchenaugen - b Wellen; bei Bedingungen des Zapfensehens das Flimmer-ERG der Zapfenaugen - wechselnd a und b Wellen - Granit 1955 -), das bei einer bestimmten gesteigerten Lichtintermittenz verschwindet (Piper 1911; zit. bei Teräskeli). Das ERG ähnelt nun demjenigen, das auf konstante Lichtreizung erhältlich ist (einige Blitze verursachen allerdings noch Wellen - Dodt und Wadenstein -), - es zeigt also eine Verschmelzung der Flimmerwellen.

E. Sachs (1929) hatte im Selbstversuch die Verschmelzung im Flimmer-ERG und subjektiv gleich gefunden. In diesem Sinne äußerten sich auch Enroth und Werner (1936).

Dodt (1951) bestätigte diese Übereinstimmung für das helladaptierte menschliche Auge.

Auch Enroth (1952/53) stütze die Annahme, Flimmer- und Verschmelzungsphänomene seien retinale Phänomene. Sie studierte diese an einzelnen retinalen Elementen des Katzenauges und fand, daß die Entladungen der Ganglienzellen ihren Flimmercharakter bei einer Flimmerfrequenz verlieren, die nahe der ERG-VF liegt. Enroth schloß aus ihren Versuchen, daß die Verschmelzung in den Ganglienzellen der Retina stattfindet.

Svaetichin (1956) nahm die retinalen Receptoren als Ort für die Verschmelzung an.

Best und Bohnen (1956) gaben an, daß die elektroretinographische VF höher liegen könne als die subjektive, und zwar bei Verwendung sehr großer Reizfelder (z. B. Sektorscheibe, 110° ausgeschnitten). Sie machten dafür aber Strukturen in der Netzhaut verantwortlich, die eine höhere als die subjektive VF haben sollen.

Aus den elektrophysiologischen Untersuchungen kann geschlossen werden (, da subjektive und objektive VF praktisch übereinstimmen und als Ursprung des ERG retinale Elemente gelten,) daß der Ort der Verschmelzung die Retina ist. Es muß aber betont werden, daß es sich um den Ort für die physiologische Verschmelzung handelt, denn Wadenstein (1956) wies nach, daß im Gegensatz zur subjektiven Erniedrigung der VF bei Schädigungen der optischen Bahnen und der Sehzentren sich im Flimmer-ERG keine sicheren Veränderungen nachweisen lassen.

C) Über die Flimmerperimetrie und ihre Einordnung in die allgemeine Perimetrie.

Die auf Albrecht von Graefe zurückgehende Perimetrie läßt sich in ihren heutigen Erscheinungsformen nach Harms und Bair in zwei Grundmethoden einordnen. Die ältere Methode ist die topographische Perimetrie, bei der für einen bestimmten Reiz die Stellen im Gesichtsfeld gesucht werden, bei denen er überschwellig wird; dabei trachtet man, durch Führen der Reizmarke von außen zum Zentrum hin Linien glei-

cher Empfindlichkeit (Isopteren) zu erhalten. Die jüngere und neben der älteren bestehende Methode ist die quantitative Perimetrie nach Harms. Hierbei wird für jeden beliebigen Ort im Gesichtsfeld ein Zahlenwert als Ausdruck seiner Empfindlichkeit ermittelt. Es wird also bei ruhender Marke die Schwelle bestimmt.

Verschiedene Unterarten der quantitativen Perimetrie sind zu unterscheiden:

a) Lichtsinnperimetrie nach Sloan (1939). Sie änderte die Leuchtdichte einer 1^{o} großen Marke zur Feststellung der Lichtunterschiedsschwelle.
b) Perimetrische Bestimmung des pupillomotorischen Schwellenreizes nach Harms (1940). Es wird der Schwellenreiz für die pupillomotorische Erregbarkeit gemessen (=Objektive Perimetrie).
c) Perimetrische Bestimmung der Lokaladaptation nach Cibis (1948). Es wird die Zeit gemessen, die zwischen der Bietung farbiger Reizmarken und ihrem "Verschwinden" infolge der Lokaladaptation vergeht.
d) Flimmerperimetrie. Es wird im Gesichtsfeld an gewünschten Orten die VF bestimmt. "Für jeden Ort im Gesichtsfeld kann eine Zahl als Ausdruck seiner sensorischen Leistungsfähigkeit angegeben werden" (Kleberger).

Kleberger sah mit Hylkema und Miles den Unterschied der Flimmerperimetrie zu den übrigen quantitativen Perimetrien vor allem in der besonderen Bedeutung, die der Zeitfaktor bei der Flimmerperimetrie hat. "Es wird die Chronopsie gemessen, und zwar in einer ganz bestimmten bei sonstigen Lichtsinnprüfungen nicht berücksichtigten Weise."

Es ist schwer, die Geburtsstunde der Flimmerperimetrie anzugeben, da Untersuchungen mit intermittierendem Licht zur Feststellung der VF schon sehr lange angestellt wurden (z. B. Schafhäutl, der 1855 die VF als Helligkeitsmaß angab, von der Erkenntnis ausgehend, daß die VF mit der Helligkeit des Reizes steigt). 1933 untersuchte Phillips zwei Meridiane bis 40^{o} zu physiologischem und klinischem Zweck, - von einer regelrechten Gesichtsfelduntersuchung kann wohl infolge unvollständiger Erfassung des Gesichtsfeldes nocht nicht gesprochen werden.

Riddel maß als erster 1936 das 30^{o} Feld aus.

Weekers und Roussel (1946) prüften an 26 Punkten bis zu einer Peripherität von 30^{o}.

Grignolo und Boles-Carenini (1954) nahmen VF-Bestimmungen zentral und an 32 Stellen des Gesichtsfeldes vor, je 10^{o} von einander entfernt (40^{o} Feld).

Miles (1949-51), Kleberger (1955 und Habilitationsschr.) untersuchten das Gesichtsfeld ebenfalls nur bis 30^{o}, da - wie Miles sagte - die VF zwar "bis 90^{o} und darüber hinaus getestet werden kann, aber diese Ausdehnung der Untersuchung gewöhnlich keinen zusätzlichen Aufschluß gibt."

Kleberger (1955) berichtete, daß er nur in einem Falle die Begrenzung der Flimmerperimetrie auf 30^{o} als Nachteil empfand, da ein peripherer Ausfall im gewöhnlichen Gesichtsfeld flimmerperimetrisch nicht deutlich genug wurde. Abschließend sei die prinzipielle Feststellung Haveners (1954) erwähnt, der mit Miles Methode untersuchte, daß "irgendeine Perimetrie, einschließlich der Flimmerperimetrie, die nur ein Feld innerhalb 30^{o} Peripherität vom Zentrum erfasse, keine Läsionen der mehr peripheren Nervenfasern entdecken kann.".

(Kožoušek - 1957 - geb eine perimetrische Methode an, die vorübergehend schon von Miles angewandt wurde, die dieser aber wieder fallen ließ. Kožoušek spiegelte Flimmerlicht fixer Frequenz auf einen Perimeterbogen und suchte, den Reiz verschiebend, den Ort der Verschmelzung. Lediglich zentral wurde die VF bei ruhender Marke ermittelt. Kožoušek zeichnete Linien gleicher VF, also Isopteren topographischer Perimetrie).

D) Über frühere Messungen der VF im Gesichtsfeld.

Es seien im Folgenden nur die wesentlichen Züge hervorgehoben, die von den Anfängen der VF-Bestimmung im Gesichtsfeld bis zur Flimmerperimetrie weisen.

Rupp veröffentlichte 1869 als erster Untersuchungen über die Höhe der VF an verschiedenen Netzhautorten. Er fand bei Verwendung sehr kleiner Marken die VF vom Zentrum zur Peripherie abfallend. Exner (1886) fand keine Unterschiede zwischen Zentrum und Peripherie, er untersuchte das dunkel-adaptierte Auge. Bellarminow (1889), der nur nasal bis 20^{o} prüfte, stellte fest, daß bei geringen Lichtintensitäten die VF zentral geringer als peripher sei. Je größer die Lichtintensität wurde, desto mehr glichen sich die VF von Zentrum und Peripherie an. Über die fernere Peripherie äußerte sich Bellarminow nur durch die Feststellung, daß sie sich beinahe ebenso verhalte, wie die mehr zentral gelegenen Teile. Bergel (1889; zit. bei Lohmann) fand, daß die Peripherie dem Zentrum überlegen sei. Lohmann (1908) kam aufgrund seiner Untersuchungen zu der gegenteiligen Meinung. Erst Granit und Harper fanden 1930 eine Erklärung für diese anscheinend einander widersprechenden Angaben: kleine Objekte ($0,5^{o}$ - $1,5^{o}$) geben eine geringere VF in der Peripherie als zentral, während größere Objekte im Zentrum einen niedrigeren Wert als peripher bewirken. Weiter sagten sie, daß bei größeren Reizintensitäten die VF steige (sie bestätigten damit u. a. Schafhäutl 1855), und zwar in der Peripherie stärker als zentral. Das Verhältnis der zentralen zur peripheren (es handelte sich bisher um die Untersuchung nahperipherer Retinaorte) VF zeigt sich also abhängig von der Größe und Reizintensität der Flimmermarke.

Lythgoe und Tansley (1930) allerdings erklärten die Verschiedenheit der VF zentral und peripher durch funktionell-anatomische Unterschiede der fovealen und peripheren Zapfen.

Granit (ab 1930) hatte vor allem wichtige physiologische und elektrophysiologische Studien über die Wirkung der retinalen Flimmerreizung vorgenommen. Er untersuchte viele der die VF beeinflussenden Faktoren.

Phillips (1933) fand die VF (bei Untersuchung von zwei Meridianen) unter Verwendung $1,5^{o}$ großer Reizmarken von 0^{o} - 10^{o} ansteigend, von 10^{o} - 40^{o} ziemlich stetig abfallend. So hatte er zentral eine VF von 43,5 Hz; bei 10^{o} = 45 Hz und bei 40^{o} = 29 Hz.

Teräskeli (1934) untersuchte mit Granits Methode und erhielt mit 2^{o} und 4^{o} großen Reizmarken für 10^{o} temporal höhere VF als im Zentrum. Er gab sowohl für zentral als für 10^{o} temporal (2^{o} Reizmarke) Schwankungsbreiten von jeweils mehr als 10 Hz an, bei Absolutwerten, die denen Phillips ähnelten.

Enroth und Werner (1936), die Teräskelis Forschungen fortsetzten, gaben bei Verwendung 2^{o} großer Reizmarken die VF am helladaptierten Auge bei 10^{o} Peripherität am höchsten an, danach folgte die zentrale VF, ab 10^{o} sank die VF, so daß sie bei 25^{o} niedriger als zentral und bei 45^{o} am niedrigsten war.

Riddell (1936) prüfte das 30^{o} (40^{o}) Feld; er fand die VF von 34 Hz im Zentrum auf 35/36 Hz bei 10^{o} ansteigend, sodann abfallend auf 30 Hz bei 30^{o}. Er benutzte den modifizierten Apparat von Phillips.

Hylkema (1942/44) untersuchte den horizontalen Meridian von 55^{o} nasal bis 95^{o} temporal. Wurde die VF-Höhe graphisch gegen den untersuchten Netzhautort dargestellt, so stieg die Kurve von zentral nach beiden Seiten zu Höhepunkten an, um dann abzufallen. Der nasale Höhepunkt lag zwischen 10^{o} und 30^{o}, der temporale zwischen 40^{o} und 50^{o} Peripherität. Messungen in der Nähe des blinden Flecks ergaben niedrigere Werte als Messungen entsprechender Orte der nasalen Seite. Von einer Prüfung des vertikalen Meridians wurde nur mitgeteilt, die Werte seien oben niedriger als unten.

Weekers und Roussel (1946) prüften das 30^{o} Feld. Miles (1949 - 51) hatte - mit einem elektronischen Gerät arbeitend - das ganze helladaptierte Feld untersucht bis nasal 60^{o}, oben und nasaloben bis 50^{o}, temporal bis 100^{o}. Die höchste VF fand Miles bei 10^{o} - 20^{o}, dann folgte der zentrale Wert, von 30^{o} an sank die VF allmählich zur Peripherie hin ab. Für klinische Zwecke hielt Miles, wie schon erwähnt, die Untersuchung des Feldes bis 30^{o} für genügend. Für die zentral niedrigeren Werte nahm Miles als Erklärung eine Hemmung an. Er schreibt dazu: "Die VF im helladaptierten Auge ist in der Fovea durch Hemmungsreflexe erniedrigt und in der Peripherie durch den Effekt des Zapfen-Teamwork erhöht. In der Peripherie konvergieren etwa 16 Stäbchen und Zapfen in eine Ganglienzelle. Angenommen, ein Zapfen dieser Gruppe antwortet auf den ersten Blitz, so ist ein zweiter Zapfen frei, um auf den zweiten Blitz zu antworten, so daß dieselbe Ganglienzelle zwei verschiedene Impulse im ungefähren Abstand von 20 msec weiterleiten kann. Experimente mit intermittierendem Licht an der Retina und am N. Opticus zeigen, daß die visuellen Leitungswege Impulse in Frequenzen bis zu 100-160 Hz. (Hylkema) bei bewußter Perception der Intermittenz des Reizes übermitteln können.

Wenn ein fovealer Zapfen einem Blitzreiz antwortet, ist die Reizschwelle der benachbarten Zapfen erhöht. Die Hemmung in der Fovea wird den amakrinen Zellen zugeschrieben, die dort besonders gut entwickelt sind.....

Die normalerweise niedrige VF des Zentrums kann in Hemmungsprozessen zu suchen sein. Wenn eine Gruppe von fovealen Zapfen auf einen Blitzreiz antwortet, ergibt ein zweiter, im Abstand von 10 msec erfolgender Reiz, den Eindruck eines einzigen, helleren Blitzes (Summation). Ein zweiter Blitz 50 msec später wird gesondert empfunden."

Best (1951) fand überall im dunkeladaptierten 40^{o}-Feld gleiche VF. Er benutzte eine 1^{o} große Reizmarke, die an jedem Netzhautort mit der vierfachen dort festgestellten Schwellenreizstärke flimmert. Er stellte also Isofrequenz her durch Verwendung "physiologisch" gleicher Reizstärken.

Grignolo und Boles-Carenini (1954/55) verfügten über eine Flimmervorrichtung, bei der eine Neonlampe mittels Elektronenunterbrechers Flimmerreize lieferte. Sie maßen das Feld von 0^{o} bis 40^{o} und fanden den Verlauf der VF-Kurven vom Zentrum zur Peripherie wie (z.B.) Miles.

Kleberger (1955/58) untersuchte mit dem später zu beschreibenden elektronischen Flimmer-Gerät im allgemeinen das 30^{o} Feld, gab jedoch einige Messungen des horizontalen Meridians von 60^{o} nasal bis 90^{o} temporal an, außerdem bestätigte er, daß die VF im ganzen Gesichtsfeld gemessen werden könne. Frühe Untersuchungen wurden mit einem etwas abweichenden Modell des Flimmer-Geräts ausgeführt als die späteren. Der ältere Apparat hatte als Reizmarke eine Glimmlampe von $1,9^{o}$ Größe (neuer App. 1^{o}), die Frequenz des Flimmerns konnte von 60 bis 17 Hz. (neuer App. 60 bis 10 Hz.) variiert werden; dabei sank die mittlere Leuchtdichte des Testes von 157 auf 90 asb, da der Hell- Dunkelquotient der Flimmerphasen nicht konstant 1 war, sondern sich nach der Frequenz der Intermittenz richtete. Die Blitzdauer war nämlich ziemlich konstant 10^{-2} sec. Bei dem neuen Apparat betrug die Leuchtdichte des Testes im Mittel 395 asb, die Länge des Blitzes war in allen Frequenzen immer etwa 1/2 der Flimmerperiode. Mit dem alten Apparat fand Kleberger zentral höhere Werte als peripher, mit dem neuen Apparat war das Verhältnis umgekehrt. Die VF-Kurven der einzelnen Meridiane verliefen ähnlich wie die von Miles u.a. Bei 10^{o} war die VF am höchsten, zentral war der Wert niedriger, zur Peripherie fielen die VF in verschieden starkem Maße ab. Die Messungen Klebergers ergaben für die Peripheritätskreise im Mittel:

a) Älterer Apparat:
zentral: 44,7 Hz, 10^{o} Kreis: 40,7 Hz, 20^{o} Kreis: 39,3 Hz, 30^{o} Kreis: 38,3 Hz. (1955 a)

b) Jüngerer Apparat (= neuer Apparat):
zentral: 44,4 Hz, 10^{o} Kreis: 45,2 Hz, 20^{o} Kreis: 44,2 Hz, 30^{o} Kreis: 43,1 Hz. (Habilitationsschrift)

Als Ursache dafür, daß mit dem neuen Apparat der Zentralwert niedriger gefunden wurde als die Werte des 10^{o} Kreises, führte Kleberger den möglichen Effekt der Belichtungsmiosis (höhere Leuchtdichte!) an. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß verschiedene Untersucher eine Abhängigkeit der VF von der Pupillenweite gefunden haben, und zwar dermaßen, daß eine Mydriasis erhöhend (wie eine größere Reizintensität), eine Miosis erniedrigend (wie eine geringere Reizintensi-

tät) wirkt (Weekers und Roussel, Speiser, Miles, Kleberger u. a.). Denn es kommt auf die Netzhaut-Beleuchtungsstärke an! Sehr klärend hatten Alpern und Spencer (1953) den Einfluß der Pupillengröße auf die VF-Höhe zwischen dem Zentrum und der nahen Peripherie (0^o - 15^o nasal) angegeben. Brachten sie den Reiz so in das Auge, daß die Pupille ihn nicht begrenzte, nahm die VF vom Zentrum zur Peripherie ab; umgekehrt war es, wenn die Pupille den vollen Reizeinfall verhinderte. Die Folge der bei intensiverer zentraler Reizung stärker auftretenden Belichtungsmiosis wäre also eine zentral (gegenüber nahperipher) niedrigere VF.

E) Über die Flimmeradaptation (FA) und ihre Bedeutung für die VF-Messung. Faktoren, die die FA beeinflussen.

Exner erwähnte 1886, daß es oft schwierig sei zu beurteilen, ob ein Objekt flimmere oder nicht: "Häufig sieht man es 1 sec. flimmern, dann scheint es wieder konstant zu sein." Das ist ein erster Hinweis auf die (von Exner als störend empfundene) FA.

Erwähnt wird die FA von fast allen Untersuchern, die sich mit der Feststellung der subjektiven VF beschäftigt haben. Genauer befaßten sich mit diesem Phänomen vor allem Granit und v. Ammon (1930), Phillips (1933), Riddell (1935/36), Le Grand und Geblewicz (1937) und Kleberger (Habilitationsschrift).
Das Phänomen der FA wird allgemein als störend empfunden, weil es ein deutlich in der Peripherie des Gesichtsfeldes flimmerndes Licht nach einiger Zeit der Exposition - FA Zeit - zum Verschmelzen zu bringen vermag. Bei Feststellung der VF kann dieses Phänomen also eine Erniedrigung des wahren VF-Wertes verursachen, wenn das verschmelzungsnah flimmernde Licht flimmeradaptativ verschmolzen wird.
Die FA-Zeiten variieren beträchtlich und sind teilweise recht kurz (Kleberger), so daß Riddell die "Fallende Methode" zur VF-Bestimmung ablehnt. Bei der "fallenden Methode" wird die Frequenz eines sicher verschmolzenen Lichts gesenkt, bis die VP Flimmern bemerkt und mitteilt. Die Wirkung der FA ist bei der "fallenden -" geringer als bei der entgegengesetzt vorzunehmenden "steigenden Methode". Riddell schreibt: "Es geschieht sehr häufig, daß die Geschwindigkeit der Flimmeradaptation bei der "fallenden Methode" größer ist als irgendeine Geschwindigkeit des Fallens, die mit der Reaktionsfähigkeit des Patienten noch vereinbar ist." Weil Riddell infolge der FA zu niedrige VF-Werte erhielt, verließ er die "fallende Methode".

Bisher bekannte, die FA-Zeit beeinflussende Faktoren sind:

a) Frequenz des intermittierenden Lichts.

Le Grand und Geblewicz hatten bei Untersuchung eines Netzhautortes 15^o nasal die FA-Zeit für ein mit 8 Hz. flimmerndes Licht (620 Kerzen/m^2) mit 33 Sekunden (Durchschnitt aus 5 Messungen) angegeben. Bei Steigerung der Flimmerfrequenz fielen die FA-Zeiten allmählich ab; für eine Frequenz von 50 Hz war die Adaptationszeit bereits 5, 4 sec, für 58, 3 Hz = 4, 2 sec. (Diese Zeiten sind natürlich nicht absolut zu werten, sondern nur als gültig für die von den Verfassern ange-

wandte Versuchsanordnung). Die absolute VF wird von den Autoren nicht mitgeteilt. Blieben die FA-Zeiten sehr niedriger - und der VF sehr genäherter Frequenzen unberücksichtigt, so fanden die Verfasser das Produkt aus der Frequenz (N) und der zugehörigen FA-Zeit (t) konstant, - N x t = c.
Es ist interessant zu bemerken, daß die von den Verfassern gemessenen FA-Zeiten der nahe der VF gelegenen Frequenzwerte, ebenso wie die der sehr niedrigen Frequenzwerte länger sein müßten, wollten sie das "N x t = c - Gesetz" bestätigen. N x t war bei 8 Frequenzen zwischen 12 und 41,7 Hz etwa 330 ± 15. Bei 8 Hz wurden für N x t = 264, bei 50 Hz für N x t = 270 und bei 58,3 Hz für N x t = 245 angegeben. Daraus ist zu entnehmen, daß die FA-Zeiten bei verschmelzungsnahen (und sehr niedrigen) Frequenzen kürzer sind, als nach dem N x t = c - Gesetz zu erwarten wäre.

b) Intensität des intermittierenden Lichts.

Die FA-Zeiten steigen und fallen mit der Reizintensität, wie aus den Versuchen von Le Grand und Geblewicz hervorgeht. Die FA-Zeiten niedrigerer Reizintensitäten sind kürzer als die höherer Reizintensitäten. Granit und v. Ammon, die den Abfall der VF infolge FA im Verlaufe von 6 Sekunden maßen und als Helligkeitsabfall von der Ausgangshelligkeit angaben, stellten fest, daß die geringere Flimmerreiz-Intensität einen geringeren Prozentabfall von der Ausgangshelligkeit aufweist als die höhere. Man kann also sagen, daß die FA bei stärkeren Reizintensitäten verhältnismäßig - nicht absolut - schneller verläuft als bei schwächeren.

c) Größe der Reizfläche.

Granit und v. Ammon zeigten, daß die FA bei größeren Reizmarken langsamer verläuft als bei kleineren.

d) Ort der Reizdarbietung.

Granit und v. Ammon gaben an, daß im Zentrum fast keine FA feststellbar sei. Bei 2^{o} fanden sie bereits einen deutlichen Effekt. Sie führten Untersuchungen bei 0^{o}, 2^{o}, 4^{o} und 10^{o} aus und sagten, die Peripherie adaptiere sich sehr viel schneller als das Zentrum. Phillips stellte fest, deutlich flimmerndes Licht verschmölze nach 3 Sekunden konstanter Fixierung bei 30^{o} Peripheritât; bei 10^{o} sei die Adaptation langsamer, sie betrage hier 7 - 10 sec. Granit bestätigte (1936) Granit und v. Ammon. Auch Hylkema teilte mit, die FA sei peripher deutlicher als im Zentrum.
Kleberger bot einigen VPn an gleichen und verschiedenen Tagen die mit 25 Hz stark und deutlich flimmernde Glimmlampe zentral und bis 30^{o} (50^{o}) nasal, 30^{o} (90^{o}) temporal. Er maß mittels Stoppuhr die FA-Zeit. Im Zentrum trat auch nach 2 Minuten noch keine Verschmelzung ein. Die gemessenen und angegebenen Zeiten streuten in der Peripherie stark - sowohl die während einer Untersuchung als auch die an verschiedenen Tagen aufgenommenen. Besonders groß fand Kleberger die Differenzen bei 10^{o}, und er hatte den Eindruck, daß kleinste Fixationsschwankungen dafür verantwortlich waren. Deshalb glaubte Kleberger, daß die bei 10^{o} so hohen, teilweise mit 50 Sekunden gemessenen FA-Zeiten, wahrscheinlich falsch sind. Die FA-Zeiten sanken zur Peripherie erheblich ab, besonders aber nasal.

Weiter wurde eine eigenartige Erscheinung beobachtet, die nicht erklärt werden konnte: "Wir fanden die FA-Zeiten in der äußersten temporalen Peripherie (70°, 80°, 90°) deutlich länger als in der mittleren Peripherie. Damit koinzidierte, daß dort die VF subjektiv leichter erkannt wurde und teils auch etwas höher war als hier." Fixationsschwankungen wurden als Erklärung ausgeschlossen, da die Einhaltung der Fixation subjektiv leichter fiel, wenn der Test weiter peripher war. Die erwähnten Untersuchungen ergeben also, daß die FA zentral, wenn überhaupt vorhanden, sehr gering ist, peripher jedoch mit der Entfernung vom Zentrum zunimmt (mit Ausnahme jener eigenartigen, von Kleberger beobachteten Erscheinung der äußersten temporalen Peripherie).

e) Dispositionsfaktoren.

Darunter sind die allgemeine Individual- und die spezielle Momentandisposition zur FA zu verstehen.

F) Über den Ort der flimmeradaptativen Verschmelzung.

Granit und v. Ammon gaben aufgrund ihrer Forschungen die "Beschaffenheit der Receptoren" als Ursache für die Verschmelzung infolge FA an. Riddell sah in der Abwesenheit der FA am Frosch- und Aalauge (in vitro) eine Stütze der Vorstellung, daß die FA ein cerebrales Phänomen sei. Le Grand (1957) schrieb, der Mechanismus der FA könne nicht länger in der photochemischen Schicht, sondern müsse höheren Orts ("at some later stage") gesucht werden.

G) Über den Einfluß der Lokaladaptation auf die VF.

Zunächst sei noch einmal auf die Scheidung der Flimmer - von der Lokaladaptation durch H. Müller hingewiesen - zweier Anpassungsvorgänge, die nicht identisch, aber eng miteinander verbunden sind.

Daß die FA bei Feststellung der VF stören kann, ist bereits festgestellt worden. Die Frage, ob ein vorher lokaladaptierter Netzhautort bei anschließender Prüfung der VF einen anderen Frequenzwert liefert als ein vorher nicht lokaladaptierter Retinaort, wurde verschieden beantwortet. Riddell verneinte die Frage und benutzte seine Erkenntnis für seine Versuchsanordnung, indem er zur Eliminierung einer eingetretenen FA an Stelle des Flimmerreizes einen konstanten Lichtreiz spiegelte. Kleberger hingegen bejahte die Frage. Kleberger hatte an einer Netzhautstelle mehrmals hintereinander in Abständen von 5 Sekunden die VF festgestellt. Nach der Bestimmung wurde die Frequenz sofort wieder auf 60 Hz gebracht, das Licht erschien der VP also konstant. Zentral wurde keine, peripher eine zum Gesichtsfeldrande zunehmende Senkung der VF schon nach wenigen Prüfungen konstatiert, die als Folge der zwischen den einzelnen Bestimmungen wirkenden Lokaladaptation gedeutet wurde. - Um die VF möglichst genau bestimmen zu können, gilt es, die FA und, nach Kleberger, auch die Lokaladaptation möglichst auszuschalten.

Als sicherste Methode zur Verhütung dieser störenden Adaptationen gilt die "sampling method" von Riddell, die z. B. auch von Teräskeli

und Hylkema benutzt wurde. Dabei wird das in fixer Frequenz oscillierende Reizlicht dem Auge für 1-2 Sekunden geboten, und die VP hat anzugeben, ob sie das Licht flimmernd oder konstant sieht. Je nach Angabe der VP wird dann die Frequenz des Reizlichts erhöht bzw. erniedrigt und eine neue Bestimmung vorgenommen. Durch einige solcher Prüfungen wird die VF festgestellt. Diese Methode hat jedoch den Nachteil, daß die häufigen Messungen recht ermüdend wirken (Weekers und Roussel, Kleberger). Die ebengenannten Autoren z. B. wandten deshalb die bereits erläuterte "fallende Methode" an. Zur Vermeidung der Lokaladaptation wurde das Reizlicht erst kurz vor der Bestimmung an die zu prüfende Stelle gebracht; die Einzelmessung sollte nicht viel länger als 1,5 Sekunden dauern; Wiederholungsmessungen sollten bei zweifelhaften Ergebnissen nicht sofort anschließend an derselben Stelle ausgeführt werden (Kleberger).

H) Über den subjektiven Eindruck des FA-Ablaufs.

Als Beschreibung dienen Zitate zweier Autoren:

a) "Während der Adaptation erscheint das Flimmern feiner und feiner - endlich verschwindet das Flimmern. Aber eine genaue Feststellung des Zeitpunktes ist schwierig." (Phillips)

b) "Bald, nachdem es (das Flimmern) verschwunden ist, wird es von neuem bemerkt, um dann schnell wieder zu verschwinden. Auf diese Weise folgen kurze, irreguläre Perioden aufeinander, indem das Flimmern abwechselnd sichtbar und unsichtbar ist. Manchmal hört das Flimmern ganz und gar auf, manchmal erscheint es wieder und wieder... Da das Flimmern wiederholt nach seinem ersten Verschwinden wiedererscheint, ist es nicht möglich, die Flimmeradaptation exakt zu messen." (Riddell)

3) Über den Zweck der vorliegenden Untersuchungen.

a) Die meisten Autoren haben sich bei ihren flimmerperimetrischen Untersuchungen auf die Prüfung des Zentrums und seiner näheren Umgebung (meist das 30^{o} Feld) beschränkt,und, wie oben ausgeführt, Gründe dafür angegeben.

Kleberger hatte seine flimmerperimetrischen Gesichtsfeldbestimmungen ebenfalls auf das 30^{o} Feld beschränkt. Es sollte durch die vorliegenden Untersuchungen geklärt werden, ob flimmerperimetrische Prüfungen des ganzen Gesichtsfeldes sinnvoll überhaupt möglich sind. Wenn man das aus den vorliegenden Untersuchungen schließen könnte, würde es wohl Veranlassung sein, doch öfter das ganze Feld zu prüfen.

b) Da ein in der Gesichtsfeldperipherie gebotenes Flimmerlicht infolge FA nach einiger Zeit verschmilzt, sollte ferner geprüft werden, wie lange diese Zeiten jeweils dauerten, wenn das Flimmerlicht an den verschiedenen Orten des Feldes dargeboten wird. Es galt also, den Einfluß des Netzhautortes auf die Länge der FA-Zeit festzustellen.

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

1) Der Apparat zur Erzeugung intermittierenden Lichts.

Die Untersuchungen wurden mit dem gleichen Gerät ausgeführt, das Kleberger für seine Gesichtsfeldmessungen verwandte. Die Originalbeschreibung findet sich in der Habilitationsschrift Klebergers.

Es handelt sich bei dem Apparat um eine wesentliche Verbesserung des von Hans Alm (Kleberger 1954) konstruierten und von Kleberger zuerst benutzten Flimmertestgeräts.

Es wird ein "elektronischer Apparat verwandt, der nach Art eines Multivibrators geschaltet ist... Der Stromanstieg ist praktisch senkrecht." Es wird eine Zwergglimmlampe gezündet. "Der Strom bleibt während einer etwas kürzeren Zeit als einer halben Periode auf konstantem Niveau und fällt dann praktisch senkrecht auf Null ab. Form und Höhe der Impulse sind in allen durch Potentiometer zwischen 10 und 60 Hz regelbaren Frequenzen praktisch gleich, und die Länge des Blitzes beträgt immer etwa 1/2 der Periode... Die Leuchtdichte der Testfläche beträgt im Mittel 395 asb. Es ist dies der integrierte Wert. Als Leuchtdichte des Blitzes muß also etwa 800 asb angenommen werden... Die Testfläche ist 1/2 qcm groß und wird damit aus 33 cm, der Entfernung des (Foerster) Perimeterbogens, unter einem Winkel von 1^{o} gesehen. Die Skala des Potentiometers ist geeicht... Die Glimmlampe ist mit dem Apparat durch ein genügend langes Kabel verbunden, so daß sie frei im Gesichtsfeld geführt werden kann. Mit einem Gummisaugnapf kann sie an beliebiger Stelle des Perimeterbogens angesetzt werden." (Kleberger, Habilitationsschrift)

2) Die konstanten Untersuchungsbedingungen und -verläufe.

A) Zum Erhalt eines konstanten Adaptationsgrades.

Lythgoe und Tansley vor allem hatten sich mit dem Einfluß des Hell-Dunkeladaptationsgrades auf die Höhe der VF befaßt. Danach fällt die VF der Zapfen während der Dunkel- und bei Abnahme der Helladaptation, wohingegen die VF der Stäbchen steigt. Granit machte ebenfalls das Zapfensystem für die höhere VF des helladaptierten Auges verantwortlich. Am geringsten ist der VF-Abfall infolge der Dunkeladaptation im Zentrum (um 15-20 %), sehr viel höher ist er peripher (um 25-50 %) - Enroth und Werner, Kleberger -.

Kleberger hatte früher in einem sonnenlosen, tageslichterhellten Zimmer untersucht. Dabei konnten natürlich manchmal auftretende extrem hohe und niedrige Beleuchtungen nicht vermieden werden. Und obwohl Kleberger feststellte, daß die VF sich in einem mittleren Bereich der Helladaptation nicht wesentlich änderte, entsprach er später der Forderung nach konstanten Untersuchungsbedingungen: Die Untersuchung wurde in einem fensterlosen Raum ausgeführt, in dem eine 200 Watt Deckenlampe leuchtete. Die VP wurde an die Helligkeit einer weißgelben Wand adaptiert (Beleuchtungsstärke 35 Lux), vor der das Perime-

ter stand, dessen Innenfläche weiß gestrichen war. Die Schatten des Perimeters an der Wand störten die Adaptation nicht besonders. Die Adaptation dauerte 5-10 Minuten.

Diese Versuchsbedingungen Klebergers wurden bei den vorliegenden Untersuchungen übernommen.

B) Zur Vermeidung einer zu starken Ermüdung der VP während der Untersuchung.

Zuerst wurde durch Vorversuche geprüft, ob beide Augen hintereinander perimetriert werden konnten, ohne ein falsches Resultat infolge einer zu großen Ermüdung der VP zu erhalten.

Bei Prüfung beider Gesichtsfelder in einem Abstand von 5 Minuten lagen in einem Falle die VF-Werte des zweitgemessenen Auges im Durchschnitt um 0,9 Hz niedriger als die des erstgeprüften. 12 Werte der 2. Messung waren höher, 6 waren gleich, 25 waren niedriger als die der ersten Messung. Die Senkungen der Zweitmessung betrugen bis zu 6 Hz (einmal vorkommend). Die Zweituntersuchung wurde an einem anderen Tage wiederholt, wobei sich zeigte, daß nun die Werte (wohl infolge der anderen Momentandisposition der VP) um 1-2 Hz im Durchschnitt höher lagen als die der Erstuntersuchung. Ein anderer Fall zeigte sehr viel auffälligere Erniedrigungen der VF-Werte bei der zweiten Messung, mehr als 4 Hz im Durchschnitt; an einzelnen Netzhautorten traten Senkungen von über 10 Hz (innerhalb des 40^{o} Feldes) ein. Die reine Untersuchungszeit beider Augen dauerte etwa 40 Minuten. Kleberger hatte geschrieben: "Wie bei anderen Sinnesuntersuchungen ist es auch hier nicht ratsam, die Prüfung zu lange auszudehnen, um nicht Störungen durch Ermüdung zu bekommen." Die VPp gaben auch an, daß die 40 minütige Untersuchung sie sehr anstrenge. Es wurde daher in Zukunft nur noch ein Auge während einer Sitzung geprüft und darüberhinaus nach der halben Untersuchung eine 2-3 minütige Pause eingelegt, da sonst plötzlich auftretende sehr niedrige VF-Werte eine Ermüdung anzeigten. Bei einigen wenigen VPp mußte eine zweite Pause eingeschaltet werden, weil sie schneller ermüdeten. Es wurde auf eine bequeme Sitzhaltung der VPp geachtet, um eine Ermüdung des Sitzens und dadurch Aufmerksamkeitsschwankungen und Unruhe zu vermeiden (nach Cibis).

C) Bei der VF-Messung.

Zu Versuchsbeginn wurde das nicht zu untersuchende Auge mit einer Klappe verdeckt. Das andere Auge hatte, in normaler Weise an das Foerster-Perimeter gebracht, den Mittelpunkt des weißen Bogens zu fixieren. Die Lampe wurde anfangs zentral geboten, um die VP durch einige VF-Bestimmungen auf das Erkennen des Flimmerns einzuüben; das Zentrum wurde deshalb dafür gewählt, weil hier Lokal- und Flimmeradaptation kaum eine Rolle spielen (Kleberger). Nach 3-4 Einstellungen wußte die VP worauf es ankam, und die Werte änderten sich bei weiteren Prüfungen nicht mehr. Es wurden dann die Meridiane in den einzelnen Peripheritätskreisen (10^{o}, 20^{o}, 30^{o} u. s. w.) in folgender Reihe untersucht, wobei die Reizlampe bis zum Beginn der Poten-

tiometerverschiebung von der Hand des Untersuchers verdeckt blieb, um einen Effekt der Lokaladaptation zu verhindern: unten (u), oben (o), nasal (n), temporal (t) - Pause - nasalunten (nu), temporaloben (to), nasaloben (no), temporalunten (tu). Die Lampe wurde vom Zentrum zur Peripherie hin verschoben, es wurde die fallende Methode verwandt. Die VP hatte bei Bemerken des Flimmerns "Jetzt" zu sagen. Traten in der Peripherie Fehlmessungen auf, wurden die betreffenden Netzhautstellen am Ende der Untersuchung erneut geprüft (s.o.). Das Flimmerperimetrieren dauerte einschließlich der Pause gewöhnlich nicht länger als 20 Minuten für ein Gesichtsfeld.

D) Bei der FA-Zeit-Messung

Es wurde nach der Angabe Klebergers verfahren. Die Glimmlampe flimmerte konstant mit 25 Hz. Überall im Gesichtsfeld, mit Ausnahme einiger an der Gesichtsfeldgrenze gelegenen Netzhautpunkte mancher VPp, wurde das Licht als deutlich flimmernd erkannt. Auf die Darbietung einer niedrigeren Flimmerfrequenz wurde verzichtet, weil dadurch die mehr zentralen FA-Zeiten sehr lang - und Fixationsschwankungen und Ermüdung stärker werden.

Der Gang der Untersuchung war der gleiche wie bei der VF-Messung, nur zentral wurde der Reiz gewöhnlich nicht geboten. Es wurde mit der Stoppuhr die Zeit gemessen, die zwischen Darbietung des Flimmerns und dessen Verschmelzen infolge der FA verging. Da - besonders in der zentrumnahen Peripherie - das Flimmern, nachdem es verschwunden ist, häufig wiederzukehren pflegt, wurde verlangt, daß die VPp "Jetzt" sagen sollten, wenn das Flimmerlicht zum ersten Mal verschmolz. Obgleich die VPp aufgefordert waren, den Mittelpunkt des Perimeterbogens streng zu fixieren, sind nämlich Schwankungen der Fixation infolge kleinster unwillkürlicher Augenbewegungen besonders bei längerer Reizdauer unvermeidbar (Granit und v. Ammon, Le Grand und Geblewicz, Cibis, Kleberger), so daß durch Reizung benachbarter, nicht flimmeradaptierter Netzhautorte erneut Flimmern wahrgenommen wird.

Eine Pause (manchmal auch zwei) nach der halben Untersuchung erwies sich als noch notwendiger als bei der VF-Messung, da, wie allgemein angegeben wurde, die ebenfalls etwa 20 Minuten dauernde Untersuchung sehr viel mehr anstrengte als diejenige zur Prüfung der VF.

Die VPp sollten ferner während der FA-Zeit-Messung Lidschlag vermeiden, da die 0,2-0,3 Sekunden (Haberich) währende Unterbrechung der Netzhautreizung durch den Lidschlag die FA zu verzögern bzw. teilweise aufzuheben vermag. Es war in den Vorversuchen festgestellt worden, daß deutlich infolge FA verschmolzenes Licht nach Lidschlag erneut für sehr kurze Zeit zu flimmern begann, um dann wieder zu verschmelzen. "Grundsätzlich ist es durchaus denkbar, daß in den 0,2-0,3 Sekunden, die das Auge beim Lidschlag verdeckt ist, rasche Adaptationsvorgänge ablaufen, die eine Erholung des Auges bewirken." (Haberich). Bei sehr langen FA-Zeiten ließ sich aber naturgemäß der eine oder andere Lidschlag nicht vermeiden.

UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

1) Allgemeine Angaben über das untersuchte Kollektiv

Es wurden ausschließlich Studenten/innen untersucht. Das hat den Vorteil, daß die sich zur Verfügung stellenden VPp ein gewisses Interesse mitbringen, andererseits stellt diese Auswahl aber einen Sonderfall der menschlichen Gesamtheit dar, der sich durch Intelligenz, Einsichtsfähigkeit und Alter heraushebt. Hylkema gab gerade für intelligente, an den Versuchen interessierte Menschen Schwierigkeiten bei der VF-Erkennung an: "Es scheint, daß eine zu große Aktivität des Zentralnervensystems die Beurteilung, ob etwas flimmert oder nicht, stört." Dieser Nachteil der Kollektivauswahl mußte in Kauf genommen werden. Ein Einfluß des Geschlechts auf die VF-Höhe ist nicht beschrieben worden.

Das Alter der VPp lag zwischen 21 und 30 Jahren. Ob das Alter der VPp einen Einfluß auf die Höhe der VF hat, wird verschieden beurteilt. Hylkema gab einen Abfall im Laufe des Lebens von rund 20 % an. Etwa den gleichen Abfall zwischen 20 und 70 Jahren bemerkten Weekers und Roussel, die die im Alter engere Pupille dafür verantwortlich machten (durch Erweiterung der Pupille bis auf 7 mm erhöhten sich die VF wieder um 5-30%). Miles und Kleberger konnten keinen Einfluß des Alters feststellen. In einer früheren Arbeit fand Kleberger für die zentrale VF eine altersbedingte Senkung von etwa 12%.

5 VPp waren Brillenträger. Die Refraktionsfehler gingen nicht über 4 dptr (1 Fall) hinaus. Die betreffenden VPp wurden unkorrigiert geprüft. Die Schärfe des Retinalbildes hat keinen bedeutenden Einfluß auf die VF-Höhe (Hylkema, Miles, Kleberger, Kožoušek). Erst bei einer Anomalie von 20 dptr fand Kleberger Senkungen von rund 10%. Kožoušek teilte mit, daß bei Korrektion der Ametropie die VF pro 3 dptr um 1% erhöht werde. Das ametrope Retinabild ist größer, aber auch lichtschwächer als das emmetrope, so daß die summative Wirkung des größeren Bildes sich in etwa mit dem erniedrigenden Effekt der geringeren Lichtintensität des flimmernden Bildes ausgleicht. Die von den VPp an verschiedenen Tagen aufgenommenen Bilder des rechten und linken Auges wurden gemeinsam ausgewertet, da Unterschiede in der VF entsprechender Netzhautpunkte beider Augen zwar häufig, aber wahllos sind, was auch aus den Arbeiten der anderen Untersucher hervorgeht.
Ebenso wurden die rechten und linken FA-Zeit-Bilder gemeinsam gewertet, da eine besondere Anfälligkeit eines Auges gegen die FA nicht festgestellt werden konnte.

2) VF-Messungen im ganzen Gesichtsfeld verschiedener Augen

A) Ausdehnung des Flimmergesichtsfeldes

Es wurden 61 Augen von 32 VPp geprüft und die Ergebnisse ausgewertet. Bei allen VPp ließ sich die VF in folgendem Bereich bestimmen: o (oben) bis 40°, to bis 50°, t bis 90°, u bis 60°, nu bis 40°, no bis 50°.
Über diesen Gesichtsfeldbereich hinaus war die VF nur noch bei den in untenstehender Tabelle summierten Augen feststellbar.

	50°	60°	70°	80°
o	60+	39	0	0
to	61	60	48	0
u	61	61	56	0
nu	55	26	0	0
n	60+	55	0	0
no	61	52	0	0

+: Die VP, die angab, bei o und n 50° die Glimmlampe nicht mehr zu sehen, zeigte sich sehr ängstlich. (Zur Untersuchung ihres zweiten Auges, die am folgenden Tage angesetzt war, erschien die VP nicht und ließ auch nicht mehr von sich hören.) Sie gab an, bei einer früheren Untersuchung zu einer wissenschaftlichen Arbeit habe sie sich eine langwierige Keratitis zugezogen. Sie befürchtete eine Schädigung durch die Gesichtsfeldbestimmung, so daß ihre oben mitgeteilte Angabe mit Vorbehalt aufzunehmen ist.

B) Meßergebnisse, deren Schwankungsbreiten und mittlere Fehler

Die genauen Angaben der VF, samt deren Schwankungsbreiten ($= \pm \sigma_x$ Werte) und mittleren Fehler ($= \pm \sigma_M$ Werte) finden sich in einer Tabelle zusammengestellt (Abb. 1). Die auf volle Hertz abgerundeten VF-Werte sind in ein Gesichtsfeldschema eingetragen (Abb. 2). Zur besseren Übersicht sind die VF-Werte und ihre physiologischen Schwankungsbreiten ($\pm 3\,\sigma_x$ -Werte) graphisch gegen den Netzhautort dargestellt (Abb. 3, 4).

Die VF-Mittelwerte der einzelnen Peripheritätskreise betrugen: zentral = 44,5 Hz, 10° = 45,9 Hz, 20° = 44,4 Hz, 30° = 42,8 Hz, 40° = 39,8 Hz, 50° = 36,3 Hz.

Der mittlere Fehler des Mittelwertes beträgt im 30° Feld (nicht Kreis) $\sigma_M = \pm 0,29$, die Schwankungsbreite $\sigma_x = \pm 2,2$.

Im 30° Kreis sind die entsprechenden Werte: $\sigma_M = \pm 0,37$; $\sigma_x = \pm 2,91$
" 40° " " " " " : $\sigma_M = \pm 0,55$; $\sigma_x = \pm 4,31$
" 50° " " " " " : $\sigma_M = \pm 0,68$; $\sigma_x = \pm 5,27$

Der Schwierigkeitsgrad des Flimmererkennens wurde unterschiedlich angegeben. Einige VPp meinten, daß das Flimmern überall gleich schwer bzw. leicht zu erkennen sei. Allgemein kann aber gesagt werden, daß das Flimmern auf der temporalen Seite leichter als auf der nasalen und oben schlechter als unten erkannt wird.

Verschiedene aufmerksame VPp gaben an, daß sie in der äußersten temporalen und temporalunteren Peripherie bei der Feststellung der VF den Umschlag von konstantem zu flimmerndem Licht plötzlich und anders als mit den mehr zentralen Netzhautpunkten sahen. Das Licht schien sofort nach dem plötzlichen Umschlag sehr langsam und schwerfällig zu flimmern, die Lichtphasen "tröpfelten", etwa so wie Wassertropfen sich von einem Hahn lösen. Die VP U. gab die Grenzen dieses "Tröpfelns", von der ab bis zum Gesichtsfeldrand das Phänomen beobachtet wurde, wie folgt an:
t und tu ab 70°, to ab 50°, u ab 30-50°, n und no ab 40°, o und nu ab 30°.

3) VF-Messungen im ganzen Gesichtsfeld eines Auges an verschiedenen Tagen. Meßergebnisse, deren Schwankungsbreiten und mittleren Fehler

Es wurde das Gesichtsfeld (rechts) der VP Sch. an 14 verschiedenen Tagen 14 (13) mal flimmerperimetrisch untersucht. Die VP kam einige Male sehr abgespannt zur Untersuchung. Das Ergebnis in den einzelnen Kreisen war im Durchschnitt:

zentral: VF = 45,8 Hz; $\sigma_M = \pm 0,25$; $\sigma_x = \pm 0,94$.
10° : " = 46,9 " ; " $= \pm 0,31$; " $= \pm 1,10$.
20° : " = 45,8 " ; " $= \pm 0,34$; " $= \pm 1,27$.
30° : " = 45,1 " ; " $= \pm 0,41$; " $= \pm 1,52$.
40° : " = 42,3 " ; " $= \pm 0,75$; " $= \pm 2,78$.
50° : " = 36,8 " ; " $= \pm 0,93$; " $= \pm 3,43$.

Während der letzten 7 Untersuchungen bemerkte die VP regelmäßig, daß das gebotene Licht tu bei 80° und 90° bereits bei 60 Hz flimmerte, jedoch sehr fein und schnell. Wurde die Frequenz des Lichts gesenkt, sah die VP bei jeweils etwa 45,5 Hz (Durchschnitt) den Umschlag des feinen Flimmerns in das langsamere "Tröpfelflimmern". Dieses Phänomen des "feinen Flimmerns" konnte vom Versuchsleiter im Selbstversuch nicht konstatiert werden. Auch von anderen VPp wurde es nicht bemerkt, allerdings wurde niemand so oft und regelmäßig (innerhalb 4 Wochen) untersucht wie die VP Sch.

4) FA-Zeit-Messungen im ganzen Gesichtsfeld verschiedener Augen. Meßergebnisse und deren Schwankungsbreiten

Es wurden 21 Augen von 11 VPp geprüft und die Ergebnisse ausgewertet. Da sich die gemessenen FA-Zeiten nicht symmetrisch um ihren arithmetischen Mittelwert verteilten, sondern von diesem Mittelwert wesentlich mehr nach oben (= längere FA-Zeiten) als nach unten (= kürzere FA-Zeiten) abwichen, konnte für die statistische Auswertung der Meßergebnisse nicht die für eine symmetrische Verteilung in Frage kommende Methode (Berechnung des arithmetrischen Mittels und dessen mittlere = quadratische = Abweichung) angewandt werden. Die Meßergebnisse wurden daher auf logarithmischer Basis ausgewertet. *

Die einzelnen Zeitwerte wurden ins logarithmische System übersetzt. Mit diesen übersetzten Werten wird dann statistisch so verfahren, als handele es sich um Numeri. Weil sich die logarithmischen Werte nunmehr symmetrisch um ihr arithmetisches Mittel verteilen, wird zu diesem die mittlere (quadratische) Abweichung der Einzelmessungen berechnet (σ_x) und der $\pm 3\,\sigma_x$-Bereich festgestellt (= 99,7 % aller Einzelzelmessungen einbeziehend). Zum Schluß wurden zu den Ergebnissen im logarithmischen Zahlensystem die entsprechenden Numeri aufgesucht. Der FA-Zeit Mittelwert entspricht also dem geometrischen Mittel der Einzelmessungen. Die 99,7 % aller Messungen einschließende Streubreite spiegelt nunmehr die asymmetrische Verteilung der Einzelmessungen um ihr geometrisches Mittel wider.

Die geometrischen Mittelwerte der FA-Zeit Messungen finden sich auf halbe Sekunden abgerundet in ein Gesichtsfeldschema eingetragen (Abb. 5). Zur besseren Übersicht sind diese Mittelwerte samt ihren Schwankungsbreiten graphisch gegen die Netzhautorte dargestellt (Abb. 6, 7).

Das Zentrum wurde nur zweimal auf den Eintritt der FA hin geprüft. Einmal wurde das Flimmerlicht 2 Minuten, ein anderes Mal 3, 5 Minuten geboten. In keinem Fall verschmolz das Licht.

Bei Untersuchung von Netzhautpunkten jenseits des 40° Kreises gaben einige VPp an, daß sie das Flimmerlicht bereits sofort nach Darbietung des Reizes verschmolzen sähen. Die FA-Zeit war hier also "Null". Da diese "Nullwerte" in die Rechnung mit logarithmischen Zahlen Unendlichkeitswerte gebracht hätten ($\lg 0 = \infty$), konnte eine Auswertung der FA-Zeiten jenseits des 40° Kreises nicht vorgenommen werden, abgesehen von folgenden Ausnahmen, bei denen "Nullwerte" noch nicht auftraten: t bis 80°, tu bis 60°.

Manche VPp gaben an, daß das Flimmern in der äußeren t und tu Peripherie "plötzlich verschwinde". "Auf einmal war nichts mehr zu sehen". Mit dem Flimmern verschwand auch zugleich der Eindruck der Lampe.

---

* An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. Dr. K. Freudenberg für seine Beratung in statistischen Fragen danken.

5. Mitteilung einiger sonst nicht berücksichtigter Fälle

6 Flimmerbilder von 4 VPp wurden nicht mitgewertet. Davon zeigten vier Bilder zweier VPp in der nahen, vor allem aber in der mittleren und fernen Peripherie allgemein so niedrige VF-Werte,(die außerdem sehr unsicher angegeben wurden), daß in beiden Fällen eine Flimmerasthenopie angenommen wurde.
Das Bild eines Inders wies allgemein niedrigere Werte auf. So lag zentral der Wert um 2 Hz unter dem geringsten gemessenen eines Einheimischen. Da nicht bekannt ist, welchen Einfluß die Rasse auf die VF hat, wurde das Bild nicht berücksichtigt.
Bei dem letzten Fall handelt es sich um das Bild eines amblyopen (linken) Auges:

V li 6/15 p; + 2,0 sph. + 1,0 zyl. A 50° = 6/15 Nd 1-2/30 cm

Fundus: Papille scharf begrenzt, vital. Macula und Gefäße oB. Die wiederholte Prüfung der VP ergab folgendes:
Die zentrale VF betrug 48 Hz. Im 10° Kreis wurde überall das mit 60 Hz intermittierende Licht flimmernd gesehen. Im 20° Kreis lagen die Werte zwischen 50 und 60 Hz. Die VF im übrigen Gesichtsfeld waren sehr hoch. Eine Erklärung hierfür wurde nicht gefunden.

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

1) Über die VF-Messungen verschiedener Augen

Die Verschiedenheit der von den einzelnen Autoren angewandten Versuchsbedingungen und -methoden bringt es mit sich, daß die jeweiligen Versuchsergebnisse nur principiell miteinander verglichen werden können, weil sie sich auf ihre bestimmte Versuchsanordnung beziehen und streng nur in dieser reproduzierbar sind. Es kann insofern festgestellt werden, daß die vorliegenden VF-Meßergebnisse principiell mit Angaben vor allem von Phillips, Enroth und Werner, Riddell, Miles, Grignolo und Boles-Carenini übereinstimmen. Teräskeli fand bei etwa gleichen Absolutwerten ähnliche (gering höhere) Schwankungsbreiten des Mittelwertes für zentral und 10°. Am besten gelingt ein Vergleich mit den neueren Ergebnissen Klebergers (Habilitationsschr.), dessen Untersuchungsmethode ja angewandt wurde:

Die Durchschnittswerte des Zentrums und des 10°, 20°, 30° - Kreises zeigen große Ähnlichkeiten mit den Messungen Klebergers, die Abweichungen liegen zwischen 0,1 (zentral) und 0,7 Hz (10° Kreis). Die Schwankungsbreiten der Werte, sowie deren mittlere Fehler lagen gering über den von Kleberger angegebenen Ermittlungen. Das mag zum einen daran liegen, daß Kleberger eine größere Anzahl von VPp hatte, zum anderen mag jene, anfangs erwähnte Kollektivauswahl eine Rolle spielen, z.B. dergestalt, daß meine VPp (nach Hylkema) größere Schwierigkeiten hatten, das Flimmern zu erkennen.

Die von Kleberger über den 30° Bereich hinaus angegebenen VF-Werte im horizontalen Meridian bewegen sich innerhalb der in Abb. 1 mitgeteilten Schwankungsbreiten, mit Ausnahme dreier Werte am Gesichtsfeldrand, die gering unter dem errechneten Schwankungsmaß liegen.

Die auf volle Hertz abgerundeten Werte (Abb. 2) sind vor allem im 20° Feld etwas höher als entsprechende Angaben Klebergers, im 30° Kreis schwanken die Werte um 2 Hz, bei Kleberger um 1 Hz.

Bei Betrachtung der Darstellung des Netzhautortes gegen die VF und deren Schwankungsbreite (Abb. 3, 4) ist ersichtlich, daß die VF zur Peripherie hin am meisten in den drei nasalen Halbmeridianen sinken, in denen auch die Werte zur Peripherie zunehmend am größten schwanken. Der geringste Abfall und die geringsten Schwankungsbreiten zeigen sich t und tu. Die Spitzen der Kurven finden sich stets bei 10°.

Jeweils bis 30° sind sich die Kurven "oben" und "unten" ähnlich, dann jedoch senkt sich die obere sehr viel steiler zur Peripherie. Hylkema erklärte dazu, daß die untere Seite physiologisch bedeutender und umfassender sei als die obere. Ferner gab er an, die VF sei n bis etwa 30° höher als t; jenseits 30° dominiere die t Seite. Das wurde kommentiert: die nasale Überwertigkeit kompensiere die temporale Unterwertigkeit des anderen Auges. Aus Abb. 3 ist ersichtlich, daß die Werte für t 10° und 20° gering unter den entsprechenden der n Seite liegen. Hylkema (und mit ihm viele andere) teilte mit, die Werte lägen in einem ziemlich großen Kreis um den blinden Fleck niedriger als entsprechende Werte der n Seite; als Begrenzung dieser erniedrigten Zone gab der Verfasser auf dem t Halbmeridian 10° und 20° an.

Auffällig ist, daß die Schwankungsbreiten vor allem n, u, o, nu, no, zwischen 30° und 40° sehr stark zunehmen. Sollten VF-Messungen in der äußeren Peripherie einen klinischen Wert haben, müßten daher zumindest die Senkungen der VF unter pathologischen Umständen außenperipher äußerst stark sein, um zwischen einem physiologisch niedrigen und einem gesenkten Wert unterscheiden zu können. Die Ausdehnung des Flimmergesichtsfeldes ist individuell nicht konstant: Haberich gab an, die Lidspalte sei bei "Ermüdung, Erschöpfung und Abgespanntheit" verengert, wobei die Wirkung des Oberlides, dessen Wimpern eher das Gesichtsfeld verdecken, hierbei stärker als die des Unterlides sei, denn es werde ja ausgiebiger bewegt. Bei den vorliegenden Untersuchungen konnte kein Einfluß der Gesichtsfeld-Verdeckung durch die Cilien auf die VF festgestellt werden. Temporal z.B. bedecken die Cilien den Halbmeridian etwa ab 30° bis zur Peripherie, ohne daß dadurch in der VF-Kurve (Abb. 3) ein "Knick" entstünde. Einige Male wurde das Lid in dem bedeckten Bereich künstlich hochgehalten, ohne daß es dadurch zu einer Steigerung der VF kam. Am Rande des Gesichtsfeldes jedoch mag es zu einer Erhöhung der VF infolge Lidhebung kommen: bei 60° no erhöhte sich die VF einige Male.
Die VF-Unterschiede zwischen dem rechten und linken Auge sind insofern mit Mitteilungen anderer Untersucher nicht vergleichbar, als bei den vorliegenden Messungen die Augen an verschiedenen Tagen untersucht wurden, also unter verschiedenen Momentandispositionen; deshalb sind die Unterschiede höher als anderswo angegeben wurde:

zentral bis 3 Hz, 10^{o} bis 5 Hz, 20^{o} bis 7 Hz, 30^{o} bis 10 Hz, 40^{o} bis 13 Hz, 50^{o} bis 15 Hz, 60^{o} bis 20 Hz.

Das Phänomen des "Tröpfelns", für das keine Erklärung gefunden wurde, war von Le Grand bereits 1937 beschrieben und als peripher zunehmend angegeben worden. Schon Exner hatte 1886 beobachtet, daß ein flimmerndes Licht peripher in größeren Schwankungen in der Helligkeit als zentral zu flimmern scheine. "Ich bemerkte einen Unterschied zwischen Centrum und Peripherie, wenn ich mit der Rotationsgeschwindigkeit [Sektorenscheibe] nicht bis an die Grenze (der Verschmelzung) ging. Das noch deutlich flimmernde Feld scheint nämlich im indirecten Sehen viel größere Schwankungen in der Helligkeit zu machen als im directen."

2) Über die VF-Messungen eines Auges an verschiedenen Tagen

An diesen Messungen ist vor allem die physiologische Schwankungsbreite der VF-Mittelwerte interessant und ein Vergleich mit den entsprechenden Angaben aus der Untersuchung verschiedener VPp. Es zeigt sich, daß die Schwankungen der Momentandisposition im Verhältnis zu den Schwankungen der Individualdisposition bedeutend sind. Auch Wedel stellte kürzlich bei Prüfung der zentralen VF fest, daß die Werte sowohl inter- als auch intraindividuell streuten. Es müssen also solche Schwankungen der Momentandisposition von Besserungen oder Verschlechterungen eines pathologischen Flimmergesichtsfeldes unterschieden werden.

3) Über die FA-Zeit Messungen

Ein Vergleich ergibt, daß die von Kleberger angegebenen Messungen im horizontalen Meridian sich innerhalb der in Abb. 6, 7 eingetragenen Schwankungsbreiten befinden. In der nahen Peripherie (10^{o} und 20^{o} Kreis) wurden zum Teil recht lange FA-Zeiten von über 50 Sekunden gemessen. Es ist durchaus fraglich (wie schon Kleberger betonte), ob diese hohen Werte richtig sind, da es bekanntermaßen schwierig oder unmöglich ist, eine so lange Zeit hindurch den Blick fixiert zu halten und Lidschläge zu vermeiden.

Die VPp gaben oft an, daß es gerade bei den mehr zentralen Untersuchungen schwierig für sie sei, den Moment der flimmeradaptativen Verschmelzung exakt anzugeben, weil der Übergang des Lichts vom Flimmern in die Kontinuierlichkeit eine gewisse Zeit in Anspruch nehme, während der ein feiner und feiner werdendes Oscillieren des Reizes, am deutlichsten an dessen Rand, fortbestehe. Das bedeutet natürlich, daß die Schwankungsbreiten in "Wirklichkeit" wahrscheinlich geringer sind als angegeben. Zur Peripherie hin werden die Messungen genauer, weil hier die FA plötzlicher einsetzt und das Flimmern nicht mehr wiedererscheint. In der Peripherie erliegt ferner der flimmeradaptativ verschmolzene Reiz schneller der Lokaladaptation, das ist sicherlich die Ursache dafür, daß hier das Einsetzen der FA eindeutiger erkannt wird. In der äußeren Peripherie (t und tu) erfolgt der generelle Niveaueffekt sofort nach der flimmeradaptativen Verschmel-

zung; viele VPp gaben daher an, das Flimmerlicht verschwinde hier "plötzlich".

Über die Abhängigkeit der FA vom Netzhautort kann festgestellt und bestätigt (Kleberger u.a.) werden, daß die FA zentral, wenn überhaupt vorhanden, sehr gering ist. Von der näheren zur ferneren Peripherie hin nehmen die FA-Zeiten ab, mit Ausnahme der äußersten Peripherie (70^{o} - 80^{o}) des t und tu Halbmeridians. (Das Wiederansteigen der oberen Grenze der Streubreite bei nu 40^{o}, to 40^{o}, tu 50^{o} ist nicht significant. Auswertungen von Untersuchungen an sehr vielen Augen würden solche Kurvenunregelmäßigkeiten sicher zum Ausgleich bringen). Schon Kleberger hatte dieses Phänomen in der äußersten temporalen Peripherie beobachtet und in diesem Zusammenhang erwähnt, damit koinzidiere, daß dort die VF subjektiv leichter erkannt werde und teils auch etwas höher sei als in der mittleren Peripherie. Auch bei den vorliegenden Untersuchungen wurden in einigen Fällen die VF t und tu in der äußersten Peripherie höher gefunden als in der mittleren, was jedoch bei den Durchschnittswerten nicht mehr ersichtlich ist. Es muß noch erwähnt werden, daß dort, wo die FA-Zeiten in der äußersten Peripherie wieder ansteigen, auch das beschriebene Phänomen des "Tröpfelns" beobachtet wird. Es ist aber nicht ersichtlich, wenn ein Zusammenhang beider Phänomene bestehen sollte, welcher es sein könnte, und es ist überhaupt ungewiß, welches die Ursache beider Phänomene ist. Le Grands These, nach der das "Tröpfeln" auf eine Zentralbedingtheit des Verschmelzungsphänomens hinweist, erscheint, zumindest nach den Ergebnissen der Elektrophysiologie, unwahrscheinlich.

Schließlich sei erwähnt, daß das neuerliche Auftreten des Flimmerns eines flimmeradaptativ verschmolzenen Lichts nach Lidschlag kaum von einer eventuellen geringfügigen Blickschwankung infolge des Lidschlages (Bell'sches Phänomen!) herrühren kann: eine sehr rasche Verdeckung der Glimmlampe macht denselben Effekt.

4) Über die Frage plötzlicher VF-Senkungen während der Flimmeruntersuchung

In den Angaben zur Versuchsmethode ist bereits von den auffallenden plötzlichen Senkungen der VF im Laufe der flimmerperimetrischen Untersuchung gesprochen worden, die dazu zwangen, an einem Tage nur ein Auge zu prüfen und noch eine Pause in den Versuchsablauf zu legen. Es erhebt sich dabei die Frage, ob diese Erscheinung eine Folge einer allgemeinen Ermüdung oder die Folge einer Wirkung ist, die sich speziell aus der Versuchsmethode ergibt:

Arnold und Wacholder fanden nach körperlicher Arbeit zwar Schwankungsphasen der VF, einen brauchbaren Ermüdungstest konnten die Verfasser jedoch mit der Flimmermethode nicht entwickeln. Ebenfalls fanden Busch und Wacholder keine eindeutigen Senkungen der VF nach geistiger Beanspruchung. Davis ermittelte keine nennenswerte Beeinflussung der VF nach bis zu 2 stündigem Kopfrechnen (nach 2 Std. eine Senkung von 0,8 Hz bei 20 VPp im Durchschnitt). Busch gab die Erhöhung der VF bei bewußtem Sichkonzentrieren mit 1-3 Hz an; bei bewußter Entspannung fiel die VF um 2-6 Hz. V. Bracken, Reichel und

Titz fanden eine Erhöhung der VF im Verlaufe einer Erholung durch eine Badekur von 2-3 Hz. Dazu im Gegensatz betrugen die genannten, plötzlich auftretenden Senkungen der VF oft viel mehr als 6 Hz, nach einer Pause waren diese Senkungen verschwunden. Hier muß ebenfalls die Angabe Klebergers erwähnt werden, daß die VF einer Netzhautstelle bei hintereinander erfolgenden Mehrfachmessungen erheblich sinkt. Da ein bedeutender Einfluß körperlicher und geistiger Belastung auf die VF nicht gefunden wurde, Senkungen der VF aber bei der Flimmeruntersuchung plötzlich und sehr stark auftreten konnten, ist anzunehmen, daß diese Senkungen eine Reaktion des Auges auf die Flimmeruntersuchung darstellen. Es liegt nunmehr die Ansicht nahe, daß diese "Reaktion des Auges" eine verstärkt flimmeradaptative ist, vor allem, wenn noch Folgendes ergänzt wird:

Eine VP wurde (rechts) im horizontalen und vertikalen Meridian auf die VF hin geprüft, nachdem das Reizlicht vorher, mit 60 Hz oscillierend, 15 sec der zu untersuchenden Netzhautstelle geboten wurde. Das Ergebnis ist in Abb. 8 eingezeichnet, zusammen mit dem einer Prüfung im Anschluß an diese Untersuchung ohne vorherige Lokaladaptation (nach genügender Pause), sowie mit dem Ergebnis einer anderntags erfolgten VF-Messung. Die VP zeichnete sich im übrigen durch relativ niedrige FA-Zeiten aus, sie betrugen am rechten Auge höchstens 9 sec.

Es zeigte sich bei dieser VP, daß die 15-sekündige Lokaladaptation nur eine geringe, wenn überhaupt eine Wirkung auf die VF hat. Bevor jedoch allgemein gesagt werden kann, die Lokaladaptation beeinflusse - wie wir es annehmen möchten - die VF nicht wesentlich, müßten Untersuchungen an einer größeren Anzahl von VPp vorgenommen werden, um die Richtigkeit dieser Annahme sicherzustellen. Schon Riddell hatte die Lokaladaptation als die VF nicht beeinflussend angegeben, Kleberger jedoch nahm an, die Lokaladaptation könne die VF senken. Wenn diese, während der Flimmeruntersuchung auftretende, verstärkt flimmeradaptative Reaktion des Auges Zeichen einer Asthenopie ist, wie sie auch im "Wilbrandt'schen Ermüdungsgesichtsfeld" (Heine-Comberg) der topographischen Perimetrie zum Ausdruck kommen kann, muß aber festgestellt werden, daß die Flimmermethode geringere Asthenopien zu erfassen vermag als die topographische Methode, da die Bestimmung der VF häufiger in der Peripherie des Gesichtsfeldes, vor allem jenseits des 30^{o} Kreises, empfindlich durch eine Asthenopie gestört wird. In einem Falle einer starken Flimmerasthenopie (die betreffenden beiden Gesichtsfelder wurden nicht gewertet) fand sich keine deutliche Einengung des Gesichtsfeldes bei dessen Prüfung am Goldmann-Gerät.

5) Über die Frage der Zweckmäßigkeit, das ganze Gesichtsfeld flimmerperimetrisch zu untersuchen

Es ist in der Einleitung mitgeteilt worden, daß die meisten flimmerperimetrisch untersuchenden Autoren praktisch nur das 30^{o} Feld prüften, höchstens aber das 40^{o} Feld (z.B. Grignolo-Boles-Carenini). Mile[illegible] und Kleberger begründeten diese Beschränkung damit, daß Bestimmungen darüber hinaus zwar möglich sind, jedoch sehr unsicher

werden und auch keinen zusätzlichen Aufschluß über Gesichtsfeldausfälle geben. (Jedenfalls nicht bei Leitungsstörungen)

Die vorliegenden Untersuchungen haben ergeben, daß die interindividuellen Schwankungsbreiten der VF n, no, o, to, u und nu zwischen 30° und 40° Peripherität stark zunehmen. So schwanken z.B. die VF-Werte im n Halbmeridian in einem Bereich von: zentral = 9,1 Hz, (= 2 mal $3\sigma_x$), 30° = 15,2 Hz, 40° = 31,4 Hz. Zur ferneren Peripherie hin wird das physiologische Schwankungsmaß bei sinkenden VF-Mittelwerten zunehmend größer - weniger t und tu, sehr viel mehr in den anderen - vor allem in den nasalen Halbmeridianen. Daraus resultiert: es werden jenseits des 30° Feldes die physiologischen Schwankungen immer breiter, so daß Senkungen der VF unter pathologischen Umständen immer höher werden müßten, wollte man sie von physiologisch niedrigen Werten unterscheiden können.
Es wäre gut denkbar, daß bei Prüfung des gesamten t und tu Halbmeridians eine Unterscheidung zwischen niedrigen und gesenkten Werten möglich ist, weil hier zum einen die normalen VF-Werte zur Peripherie hin nicht so stark absinken und sich die Schwankungsbreiten dieser Werte zum anderen in engeren Grenzen halten. Die zunehmenden interindividuellen Schwankungsbreiten der VF zur fernen Peripherie hin müssen im Zusammenhang mit den intraindividuellen Schwankungsbreiten der VF gesehen werden: Die letzten betragen laut vorliegenden Untersuchungen zentral 5,6 Hz (= 2 mal $3\sigma_x$), im 30° Kreis durchschnittlich 9,1 Hz (t=8,2 Hz, tu = 8,0 Hz), im 40° Kreis 16,7 Hz (t = 7 Hz, tu = 7,4 Hz), im 50° Kreis 20,6 Hz (t = 9,4 Hz, tu = 10,6 Hz). Das heißt, die Schwankungsbreite nimmt besonders zwischen 30° und 40° (Ausnahme: t und tu) Peripherität stark zu. Die hohen inter- und intraindividuellen Schwankungsbreiten der VF-Werte jenseits des 30° Feldes (Ausnahme: t und tu) lassen es sehr fraglich erscheinen, ob klinisch wertvolle Schlüsse aus der Untersuchung des jenseits 30° gelegenen Gesichtsfeldbereiches gezogen werden können. Das soll durch folgende Überlegung klar werden: Angenommen, es würde bei 40° n (intraindividuelle Schwankungsbreite = 16,7 Hz) eine VF von 15 Hz gemessen, müßte man diesen Wert, laut vorliegenden Untersuchungen, als pathologisch bezeichnen. Erhielte man bei Prüfung des Gesichtsfeldes zu einem späteren Zeitpunkt am selben Ort einen Wert von z.B. 25 Hz, dürfte aus dieser Veränderung nicht geschlossen werden, daß der Wert nun nicht mehr pathologisch sei, da er sich ja innerhalb der interindividuellen physiologischen Schwankungsbreite befindet; denn: der Unterschied von 10 Hz bewegt sich weit unter der für 40° n errechneten intraindividuellen Schwankungsbreite. In der ferneren Peripherie würde diese Unsicherheit in der Beurteilung der VF-Werte natürlich noch sehr zunehmen.

Miles und Kleberger machten die begründete Annahme, daß die flimmerperimetrische Untersuchung der fernen Peripherie keinen zusätzlichen Aufschluß über Gesichtsfeldausfälle bei Leitungsstörungen ergibt. Diese Leitungsstörungen, die ja das Hauptanwendungsgebiet der Flimmerperimetrie darstellen, werden bereits schon im 30° Feld mit hoher Empfindlichkeit erkannt (Hylkema, Weekers-Roussel, Miles, Kleberger u.a.). Das ist ein glücklicher Umstand, da das oben beschriebene große Schwankungsmaß in der Peripherie die Beschränkung

der Untersuchung auf das 30° Feld fordert. Zusätzliche Gründe sind noch die jenseits dieses Feldes häufiger auftretenden plötzlichen Senkungen der VF im Verlaufe der Prüfung, sowie die Zeitersparnis bei der begrenzten Untersuchung. Kleberger konnte während einer Viertelstunde beide Felder prüfen, bei den vorliegenden Versuchen dauerte die Bestimmung eines Feldes rund 20 Minuten.

Es sei noch erwähnt, daß Kleberger nur in einem Falle die Begrenzung der Flimmerperimetrie auf 30° als Nachteil empfand, "da ein peripherer Ausfall im gewöhnlichen Gesichtsfeld hier nicht genügend deutlich zur Darstellung kam".

ZUSAMMENFASSUNG

In einer Einführung wurden die notwendigen Begriffserklärungen gegeben, anschließend allgemeine Punkte zur VF-Messung und zur FA in geschichtlicher Sicht erörtert und dann der Zweck der vorliegenden Untersuchung erläutert. Darauf folgte die Angabe der Versuchsanordnung. Es wurden folgende Versuche angestellt:

a) Es wurden die Gesichtsfelder verschiedener VPp mit intermittierendem Licht in 4 Meridianen bis zur äußersten Peripherie flimmerperimetrisch untersucht. Die Mittelwerte der VF der einzelnen Netzhautpunkte, sowie die Mittelwerte der einzelnen Peripheritätskreise wurden samt ihren Schwankungsbreiten und mittleren Fehlern in Abb. 1 angegeben. Ferner wurden die auf volle Hertz abgerundeten Werte in ein Gesichtsfeldschema eingetragen (Abb. 2) und die VF in den einzelnen Meridianen graphisch gegen den Netzhautort dargestellt (Abb. 3, 4). Es zeigten sich im 30° Feld neben Ähnlichkeiten mit Messungen anderer Autoren vor allem Annäherungen an die Ergebnisse Klebergers, dessen Untersuchungsmethode übernommen wurde. Im ganzen Gesichtsfeld fielen die VF von einem Höhepunkt bei 10° gering zum Zentrum, weit stärker aber und in verschiedenen Graden zur Peripherie ab. Die Schwankungsbreiten der Werte wurden bei der guten Hälfte der Halbmeridiane zwischen 30° und 40° sehr stark zunehmend gefunden, und es wurde festgestellt, daß VF-Messungen in der äußeren Peripherie, falls sie einen klinischen Wert haben sollten, zumindest sehr starke Senkungen der VF unter pathologischen Umständen aufweisen müßten, um physiologisch niedrige von pathologisch gesenkten Werten unterscheiden zu können. Sehr viele VPp gaben an, sie sähen in der äußersten Peripherie das Licht scheinbar langsamer flimmern als in den mehr zentralen Gebieten des Gesichtsfeldes ("Tröpfeln"). Eine Ursache hierfür ist nicht bekannt.

Ein Einfluß der Cilienbedeckung des mittleren Gesichtsfeldbereichs auf die VF wurde nicht gefunden.

Die Unterschiede zwischen der VF entsprechender Netzhautpunkte beider Augen waren größer als die anderer Autoren, weil an verschiedenen Tagen, erst das rechte, dann das linke Gesichtsfeld untersucht wurde.

b) Es wurde das rechte Gesichtsfeld einer VP an verschiedenen Tagen je ein Mal flimmerperimetrisch untersucht. Die errechneten VF-Mittelwerte wurden samt ihren Schwankungsbreiten und mittleren Fehlern für die Peripheritätskreise angegeben. Es zeigte sich, daß die Schwankungen der VF eines Auges an verschiedenen Tagen (=Schwankungen der Momentandisposition, =intraindividuelle Schwankungen) recht bedeutend sind im Vergleich zu den VF-Schwankungen je ein Mal untersuchter, verschiedener Augen (=Schwankungen der Individualdisposition, =interindividuelle Schwankungen).

Die Schwankungen der Momentandisposition sind bei der Frage zu berücksichtigen, ob beim Vorliegen eines pathologischen Flimmergesichtsfeldes spätere Prüfungen eine Veränderung des Krankheitsbildes anzeigen.

c) Es wurden die Gesichtsfelder verschiedener VPp mit einem Flimmerreiz konstanter Frequenz (25 Hz) untersucht und die Zeit gemessen, die zwischen Darbietung und Verschmelzen des Flimmerlichts verging (FA-Zeit). Es wurden die Mittelwerte samt ihren Schwankungsbreiten und mittleren Fehlern in den Peripheritätskreisen angegeben. Außerdem wurden die auf halbe Sekunden abgerundeten FA-Zeiten in ein Gesichtsfeldschema eingetragen (Abb. 5), sowie die FA-Zeiten gegen den Netzhautort dargestellt (Abb. 6, 7). Zentral trat innerhalb 2 und mehr Minuten keine FA ein. Von 10^{o} an wurden die Zeiten zur Peripherie hin kürzer (die FA also schneller), mit Ausnahme von t und tu 70^{o} und 80^{o}. Eine Ursache für das letzte wurde nicht gefunden. Es ist fraglich, ob, und wenn ja, was für ein Zusammenhang zwischen diesem Phänomen und anderen nur dort in Erscheinung tretenden besteht, z.B. der teilweisen Wiederzunahme der VF in diesem Gebiet und dem "Tröpfeln" des Flimmerlichts.

Das Wiederauftreten des Flimmerns eines flimmeradaptativ verschmolzenen Lichts wurde nicht nur nach Lidschlag, sondern auch nach kurzdauerndem Verdecken der Glimmlampe beobachtet. Das weist auf die Bedeutung des Lidschlags in Bezug auf die Verhinderung der FA (und allgemein der Lokaladaptation) hin.

Es wurde die Vermutung geäußert und erläutert, daß die häufig auftretenden, plötzlichen und starken Senkungen der VF im Verlaufe der flimmerperimetrischen Prüfung eine spezielle Folge der Untersuchung mit Flimmerlicht sind, wobei vermutlich die FA als Folgeerscheinung der Untersuchung - während dieser - zunimmt. Als Ergänzung dazu wurde mitgeteilt, daß (allerdings nur in einem Fall geprüft) eine 15 sekündige Lokaladaptation eines Netzhautortes dessen VF nicht wesentlich verändert (s. Abb. 8) und daher die Lokaladaptation unserer Ansicht nach für stärkere Senkungen der VF im Laufe der Untersuchung nicht in Frage kommt. Untersuchungen an einer größeren Anzahl von VPp müßten jedoch die Richtigkeit dieser Annahme erst beweisen.

Es wurde diese oben erwähnte zunehmende Wirkung der FA im Verlaufe der flimmerperimetrischen Untersuchung in Beziehung zur Asthenopie gesetzt, wie sie sich bei der topographischen Perimetrie im Wilbrandt'schen Ermüdungsgesichtsfeld zeigt, und festgestellt, daß die Flimmermethode geringere Asthenopien zu erfassen vermag als die topographische Methode, da die Bestimmung des Flimmergesichtsfeldes häufiger in der Peripherie des Gesichtsfeldes, vor allem jenseits des 30^{o} Kreises, empfindlich durch eine Asthenopie gestört wird. In einem Falle einer starken Flimmerasthenopie fand sich keine deutliche Einengung des Gesichtsfeldes bei dessen Prüfung am Goldmann-Gerät.

Abschließend wurden die Gründe angeführt, die für eine Beschränkung der flimmerperimetrischen Untersuchung auf das 30^{o} Feld sprechen (s. d.).

VF-WERTE; MITTLERE FEHLER DER MITTELWERTE (σ_M); MITTLERE ABWEICHUNGEN VON DEN MITTELWERTEN (σ_x).

Grad der Peripherität	Meridian	VF	σ_M	σ_x	G.d.P.	M.	VF	σ_M	σ_x	G.d.P.	M.	VF	σ_M	σ_x	G.d.P.	M.	VF	σ_M	σ_x
10°	o	46,3	0,25	1,97	20°	o	44,6	0,27	2,11	30°	o	42,5	0,35	2,72	40°	o	38,8	0,55	4,31
	to	45,8	0,24	1,91		to	43,8	0,32	2,47		to	42,1	0,44	3,41		to	40,1	0,52	4,09
	t	45,9	0,21	1,65		t	44,2	0,29	2,24		t	44,2	0,29	2,24		t	43,5	0,32	2,52
	tu	45,6	0,23	1,76		tu	44,6	0,20	1,58		tu	43,8	0,29	2,30		tu	42,3	0,35	2,75
	u	45,6	0,22	1,72		u	44,0	0,30	2,32		u	42,8	0,36	2,81		u	41,8	0,46	3,62
	nu	45,8	0,23	1,79		nu	44,4	0,29	2,27		nu	41,9	0,44	3,42		nu	37,5	0,70	5,44
	n	46,1	0,20	1,60		n	45,3	0,24	1,91		n	43,4	0,33	2,54		n	38,7	0,67	5,24
	no	45,9	0,21	1,65		no	44,5	0,31	2,43		no	41,5	0,49	3,81		no	35,8	0,83	6,50
	im Mittel	45,9	0,22	1,76		i. M.	44,4	0,28	2,17		i. M.	42,8	0,37	2,91		i. M.	39,8	0,55	4,31

G.d.P.	M.	VF	σ_M	σ_x	G.d.P.	M.	VF	σ_M	σ_x	G.d.P.	M.	VF	σ_M	σ_x	G.d.P.	M.	VF	σ_M	σ_x
50°	o	33,5	0,77	5,86	60°	o	29,7	1,18	7,34	70°					80°	t	40,3	0,48	3,73
	to	37,0	0,69	5,38		to	34,2	0,76	5,87		to	29,2	1,11	7,99		tu	37,5	0,65	5,07
	t	42,6	0,35	2,72		t	41,8	0,39	3,03		t	41,3	0,39	3,07					
	tu	40,6	0,43	3,36		tu	39,4	0,47	3,64		tu	39,0	0,57	4,43	90°	t	38,0	0,62	4,83
	u	39,8	0,56	4,37		u	37,6	0,68	5,32		u	35,2	0,84	6,28		tu	37,1	0,70	5,46
	nu	32,0	0,88	6,87		nu	28,2	1,60	8,26										
	n	33,2	0,82	6,40		n	27,1	0,91	7,09						ZENTRAL		44,5	0,19	1,51
	no	31,6	0,91	7,11		no	25,9	1,06	7,64										
	i. M.	36,3	0,68	5,27															

ABB. 1

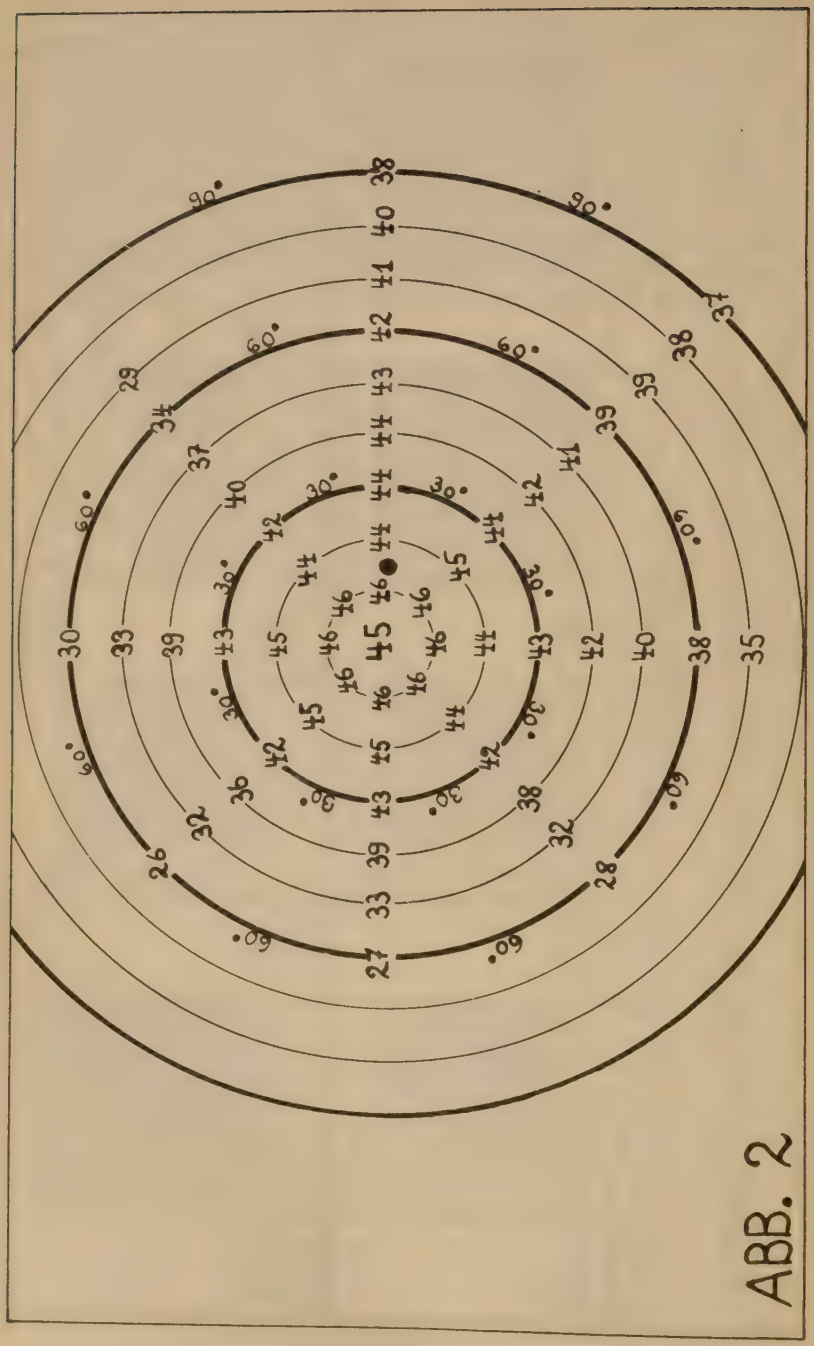


ABB. 2

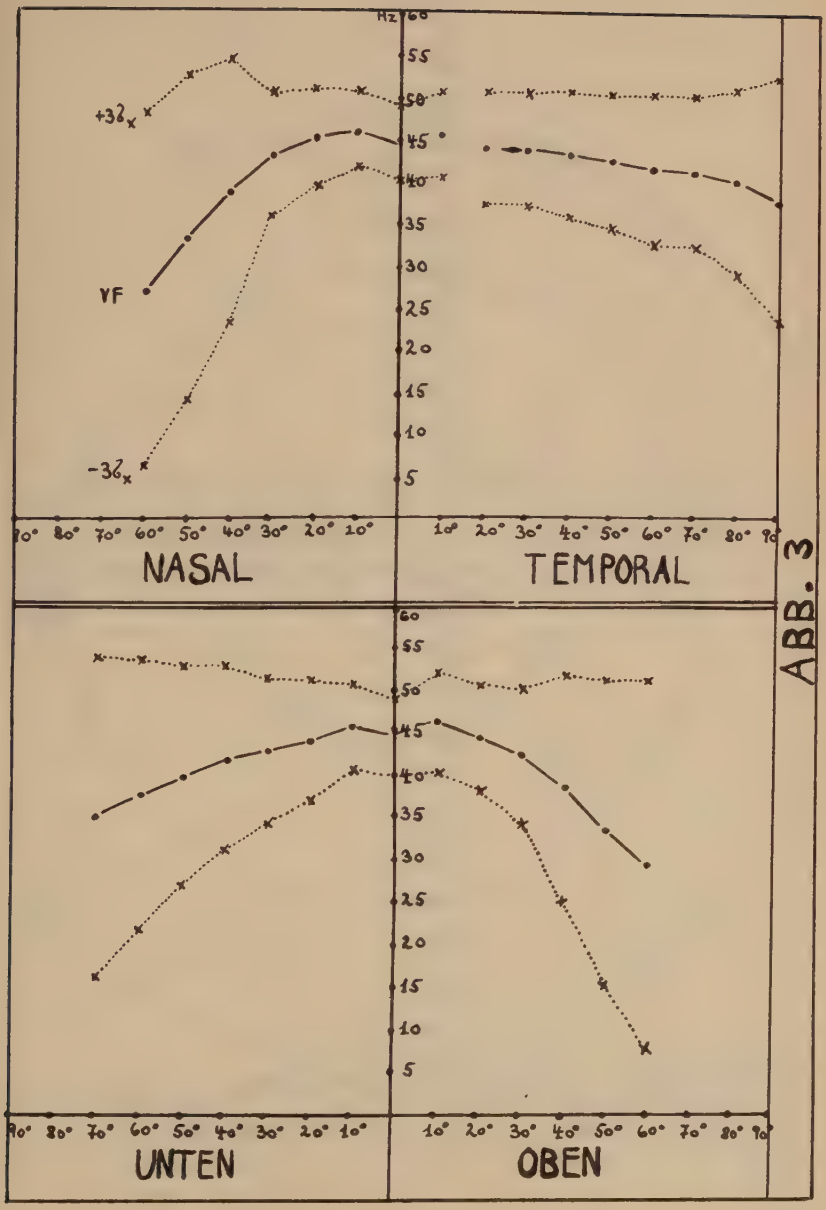


ABB. 3

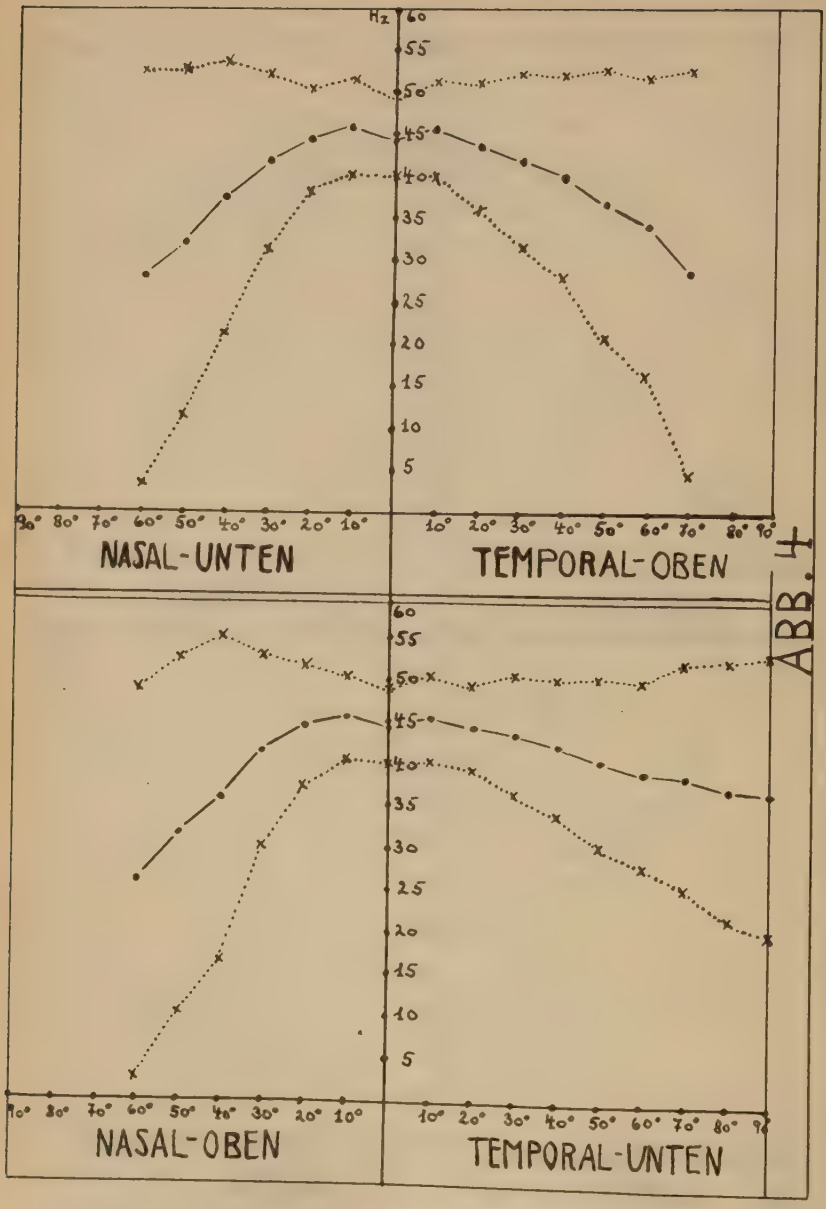

Hz
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
90° 80° 70° 60° 50° 40° 30° 20° 10°
NASAL-UNTEN
10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°
TEMPORAL-OBEN
NASAL-OBEN
TEMPORAL-UNTEN

ABB. 4

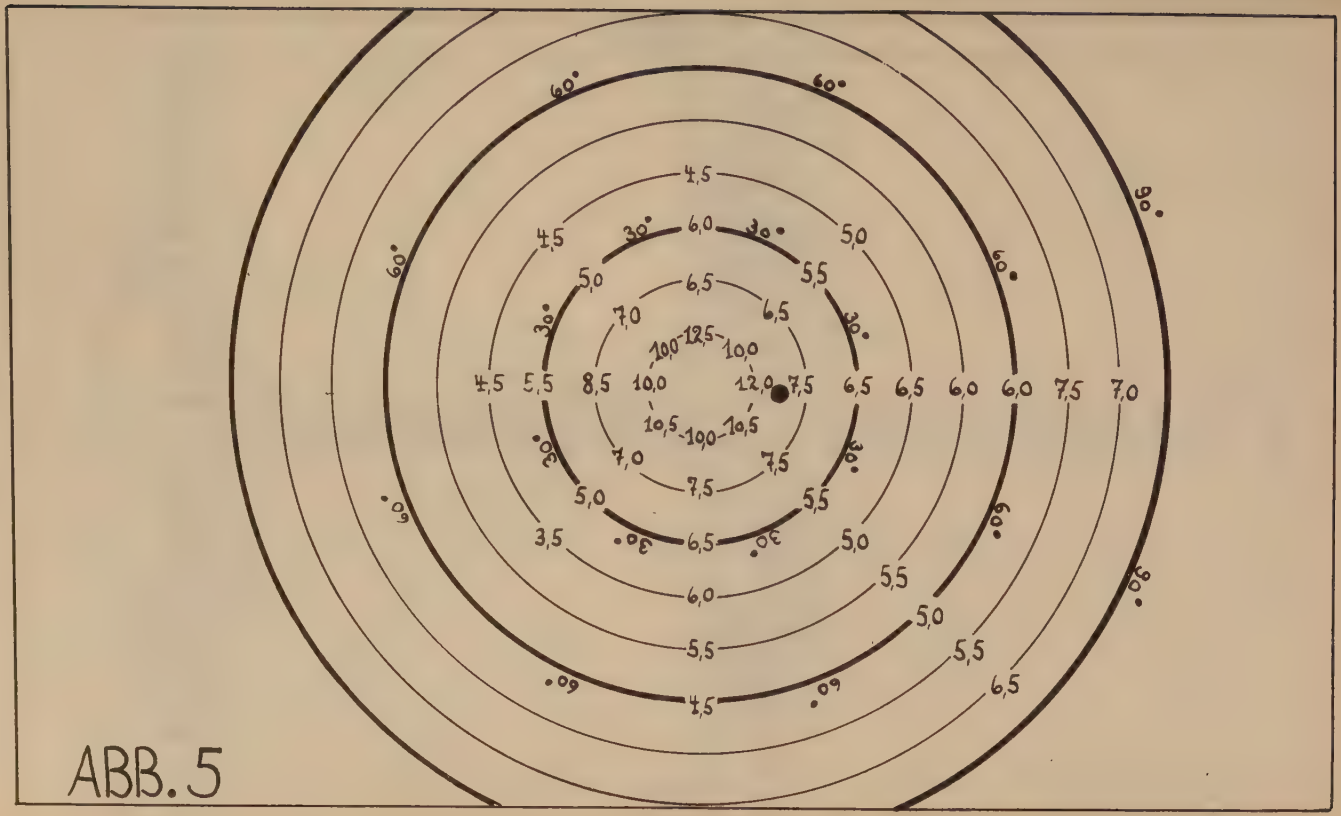
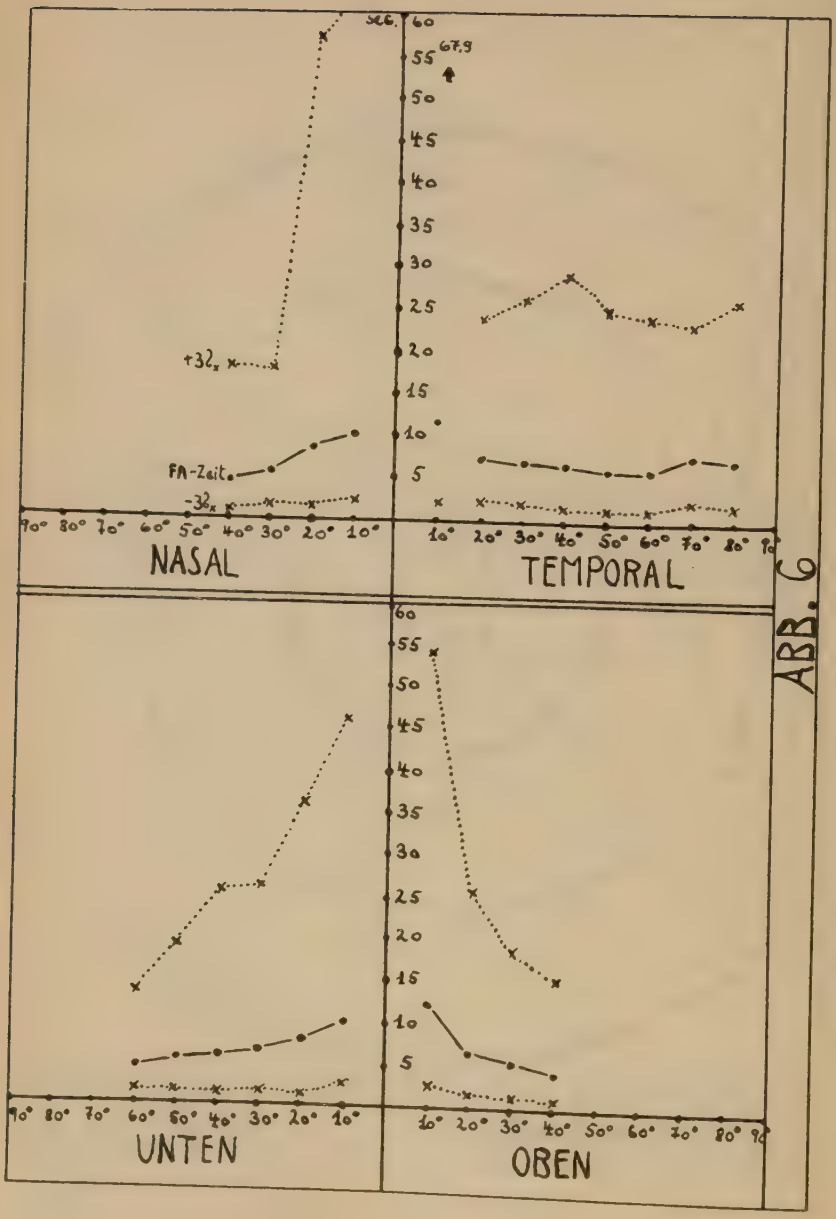


ABB. 5


60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
67,9
+3Z
FA-Zeit
-3Z
90° 80° 70° 60° 50° 40° 30° 20° 10°
NASAL
10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°
TEMPORAL
UNTEN
OBEN
ABB. 6

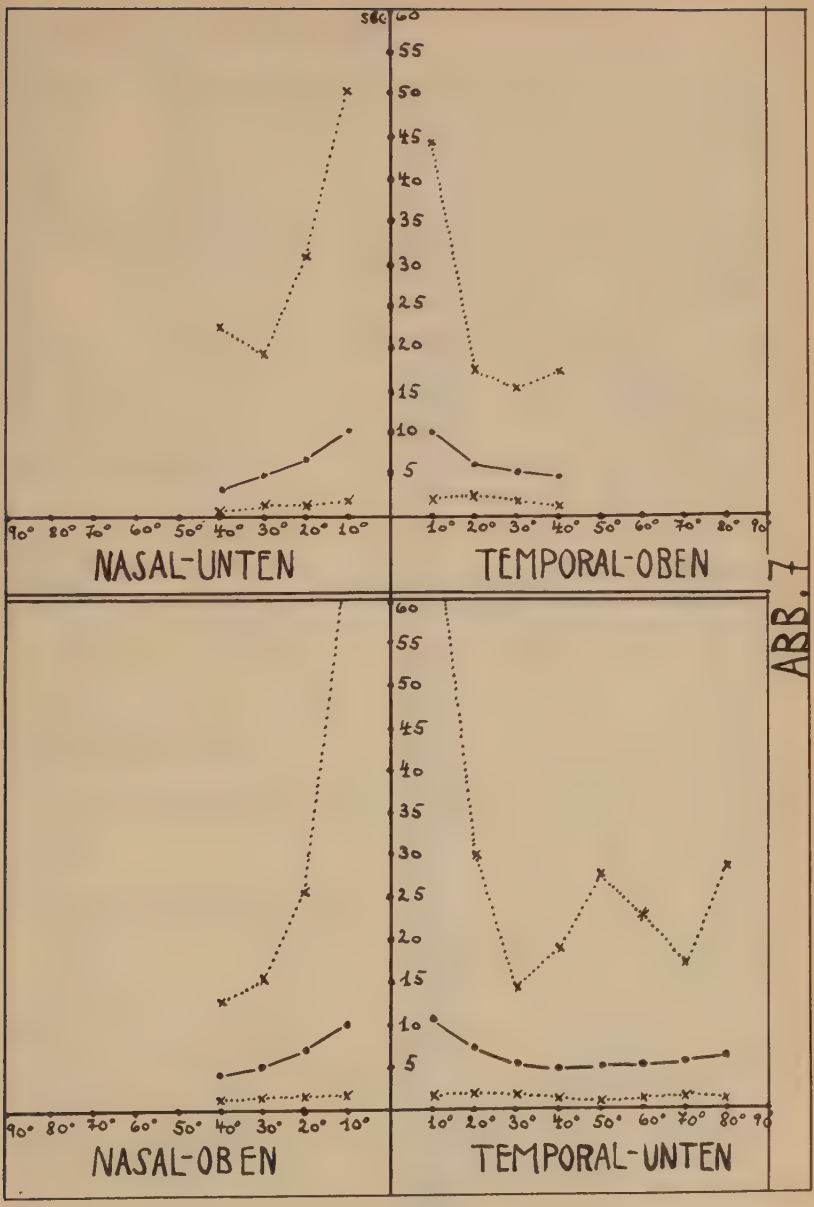

sec
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
90° 80° 70° 60° 50° 40° 30° 20° 10°
NASAL-UNTEN
10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°
TEMPORAL-OBEN
NASAL-OBEN
TEMPORAL-UNTEN

ABB. 7

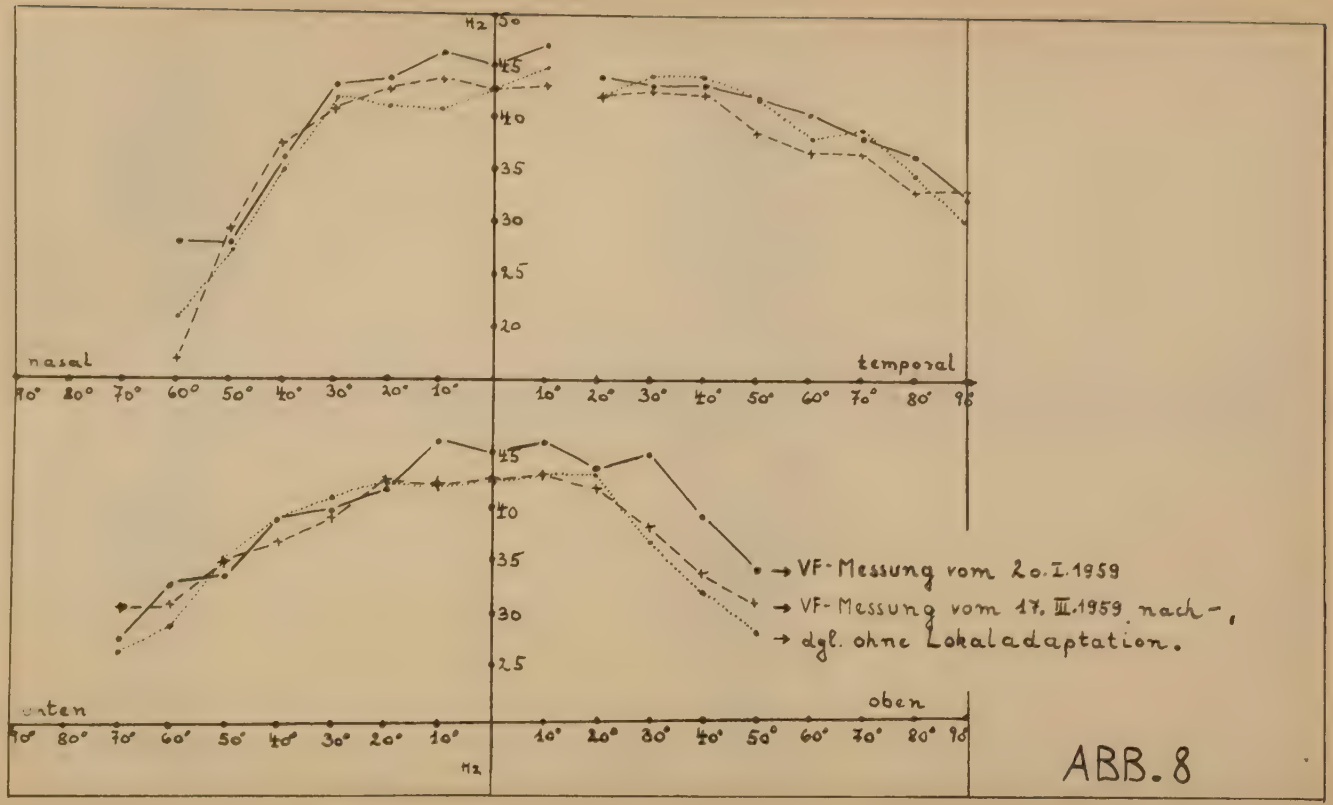

Mz
50
45
40
35
30
25
20
nasal
temporal
90° 80° 70° 60° 50° 40° 30° 20° 10°
10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°
45
40
35
30
25
unten
oben
Mz
→ VF-Messung vom 20.I.1959
→ VF-Messung vom 17.III.1959 nach-,
→ dgl. ohne Lokaladaptation.

ABB. 8

LITERATURVERZEICHNIS

Alpern M. and Spencer R.W.: Variation of Critical Flicker Frequency in the Nasal Visual Field. Relation to Variation in Size of the Entrance Pupil and to Stray Light Within the Eye. Arch. of Ophth. 50: 50 (1953)

Arnold H. und Wacholder K.: Weitere Untersuchungen über optische Verschmelzungsfrequenz und ermüdende körperliche Beanspruchung. Arbeitsphysiologie 15: 149 (1953)

Bair: erwähnt nach Harms s.d.

Bartley H.: Subjective Flicker Rate with Relation to Critical Flicker Frequency. J. of Experim. Psychol. 22: 388 (1938)

Bellarminow L.: Über intermittierende Netzhautreizung. v. Graefes Arch. 35, 1: 25 (1889)

Bergel: zit. bei Lohmann

Best W.: Die Abhängigkeit der Flimmerfrequenz von der Reizflächengröße und dem Ort der gereizten Netzhautstelle unter besonderer Berücksichtigung der Schwellenreizlichtstärke. v. Graefes Arch. 152: 99 (1951)

Best W. und Bohnen K.: Untersuchungen über das Elektroretinogramm des Menschen bei Verwendung farbiger Lichtreize. in Hamburger Symposion "Elektroretinographie" 1956 als Bibloth. ophth. 1957: 96 (S. Karger Basel, New-York)

v. Bracken H., Reichel H. und Titz B.: Der Einfluß von Badekuren auf die Flimmerverschmelzungsfrequenz als Ausdruck ihrer psychischen Wirkung. Die Medizinische 37: 1163 (1952)

Busch G.: Der Einfluß eines bewußten Sichkonzentrierens und Sichentspannens auf die Flimmerverschmelzungsfrequenz. Psychol. Beiträge 1: 312 (1953)

Busch G. und Wacholder K.: Der Einfluß ermüdender geistiger Beanspruchung auf die Flimmerverschmelzungsfrequenz. Arbeitsphysiologie 15: 149 (1953)

Cibis P.: Zur Pathologie der Lokaladaptation. 1) Physiologische und klinische Untersuchungen zur quantitativen Analyse der örtlichen Umstimmungserscheinungen des Licht- und Farbensinns unter besonderer Berücksichtigung hirnpathologischer Fälle. v. Graefes Arch. 148: 1 (1948)
2) Konstruktive Darstellung des Ablaufs der Erregungsvorgänge im normalen und erkrankten Sehorgan bei konstanter und phasischer Reizung umschriebener Sehfeldstellen. v. Graefes Arch. 148: 216 (1948)

Creed R.S. and Ruch T.C.: Regional Variations in Sensitivity to Flicker. J. of Physiol. 95: 211 (1930)

Creed R.S. and Granit R.: Observations on the Retinal Action Potential with Especial Reference to the Response to Intermittent Light. J. of Physiol. 78: 419 (1933)

Davis W.S.: Auditory and Visual Flicker Fusion as Measures of Fatigue. Americ. J. of Psych. 68: 654 (1955)

Dodt E.: Elektroretinographische Untersuchungen zur Analyse des Flimmerphänomens im menschlichen Auge. Ber. 57, Zusammenk. Dtsch. Ophth. Ges. 57 (1951)
Beiträge zur Elektrophysiologie des Auges.
1) Über die sekundäre Erhebung im Aktionspotential des menschlichen Auges bei Belichtung. v. Graefes Arch. 151: 672 (1951)
2) Über Hemmungsvorgänge in der menschlichen Retina. v. Graefes Arch. 153: 152 (1952) und zit. bei Enroth (1952, s.d.)

Dodt E. and Wadenstein L.: The Use of Flicker Electroretinography in the Human Eye. Observations on Some Normal and Pathological Retinae. Acta Ophth. 32, 2: 165 (1954)

Enroth C.: The Mechanism of Flicker and Fusion Studied on Single Retinal Elements in the Darkadapted Eye of the Cat. Acta Physiol. Scand. 27: Suppl. 100 Stockholm 1952

Spike Frequency and Flicker Fusion Frequency in Retinal Ganglion Cells. Acta Physiol. Scand. 29: 19 (1953)

Enroth E. und Werner S.: Untersuchung des Lichtsinns mittels intermittierenden Lichts. Acta Ophth. 14: 320 (1936)

Exner S.: Über die Functionsweise der Netzhautperipherie und den Sitz der Nachbilder. v. Graefes Arch. 32, 1: 233 (1886)

Graham C. H. and Granit R.: Comparative Studies on the Peripheral and Central Retina. Inhibition, Summation and Synchronization of Impulses in the Retina. Americ. J. of Physiol. 98: 664 (1931)

Le Grand Y.: Sur le rythme apparent du papillotement. compt. rend. hebd. d. séances d' L'acad. d. sc. Paris. 204: 1590 (1937)
Light, Colour and Vision. p. 449 Chapman and Hall, London 1957

Le Grand Y. et Geblewicz E.: Sur le papillotement en vision latérale. compt. rend. hebd. d. séances d'L'acad. d. sc. Paris. 205: 297 (1937)

Granit R.: Effects of Summation in the Peripheral and Central Retina of the Human Eye. Proceed. of the Americ. Physiol. Soc. in: Americ. J. of Physiol. 93: 651 (1930a)
Comparative Studies on the Peripheral and Central Retina. On Interaction Between Distant Areas in the Human Eye. Americ. J. of Physiol. 94: 41 (1930b)
Två nätthinnetyper och deras elektriska reaktioner till intermittent ljusretning i ljus- och mörkeradaptation. Finsk. Läkslsk. Hdlgr. 78: 265 (1935)
Die Elektrophysiologie der Netzhaut und des Sehnerven. Mit besonderer Berücksichtigung der theoretischen Begründung der Flimmermethode. Acta Ophth. Scand. 14: Suppl. 8 (1936)
Levin und Munksgaard Köbenhavn
Receptors and Sensory Perception. A Discussion of Aims, Means and Results of Electrophysiological Research into Process of Reception. p 62-80, 151-190, 280ff. New Haven, Yale University Press 1955

Granit R. and v. Ammon W.: Some Aspects of Local Adaptation. Americ. J. of Physiol. 95: 229 (1930)

Granit R. and Harper P.: Comparative Studies on the Peripheral amd Central Retina. Synaptic Reactions in the Eye. Americ. J. of Physiol. 95: 211 (1930)

Grignolo A. e Boles-Carenini B.: Ricerche sulla determinazione campimetrica della frequenza critica di fusione degli stimoli luminosi: Apparato, tecnica e compartamento della frequenza critica di fusione nei soggetti normali. Boll. Ocul. 33: 193 (1954) zit. Zentralbl. Ophth. 63: (1954/55) p 232

Haberich F. J.: Die Physiologie der Augenlider. Ein Beitrag mit besonderer Berücksichtigung der vergleichenden Physiologie und der Beziehung zwischen Form und Funktion. Physiol. Habilitationsschr. Berlin 195X p 59, 61 ff., 102

Harms H.: Neue Methoden der Perimetrie. In "Zeitfragen der Augenheilkunde", p 369; Thieme, Leipzig 1954

Havener W. H.: Comparison of Flicker Perimetrie with Standard Perimetric Methods. Arch. of Ophth. 52: 91 (1954)

Heine L. und Comberg W.: "Funktionsprüfung und Funktionsstörungen" in Axenfeld-Serr Lehrbuch und Atlas der Augenheilkunde, Fischerverlag, Jena (1958); 10. Auflage. p 138/139

Hessberg R.: Untersuchungen über die Verschmelzungsfrequenz bei Augenhintergrundserkrankungen. v. Graefes Arch. 69: 272 (1909)

Hylkema B. S.: Fusion Frequency with Intermittent Light under Various Circumstances. Acta Ophth. Scand. 20, 2: 159 (1942 a)
Examination of the Visual Field by Determinung the Fusion Frequency. Acta Ophth. Scand. 20, 2: 181 (1942 b)
Klinische Anwendung der Bestimmung der Verschmelzungsfrequenz. v. Graefes Arch. 146: 110 (1944)

Kleberger E.: Untersuchungen über die Verschmelzungsfrequenz intermittierenden Lichts an gesunden und kranken Augen.
1) 1. Mitteilung. v. Graefes Arch. 155: 314 (1954 a)
2) 2. Mitteilung. v. Graefes Arch. 155: 324 (1954 b)
3) Das normale Flimmergesichtsfeld. v. Graefes Arch. 157: 158 (1955 a)
4) Flimmergesichtsfelder bei pathologischen Fällen. v. Graefes Arch. 157: 167 (1955 b)
Zur Pathologie der Flimmerverschmelzungsfrequenz. Physiologische und klinische Untersuchungen über die Bestimmung der Verschmelzungsfrequenz intermittierenden Lichts als eine Methode quantitativer Perimetrie. med. Habilitationsschr. Berlin 1958

Kožoušek V.: Beitrag zur Physiologie der Flimmerperimetrie. Suppl. ad Ophthalmologica (Basel) 134: 243 (1957)

v. Kries J.: Die Gesichtsempfindungen; in Nagels Handbuch d. Physiol. d. Menschen 3. Band 1. Hälfte p 230, 252 ff (1904)

Lohmann W.: Über die lokalen Unterschiede der Verschmelzungsfrequenz auf der Retina und ihr abweichendes Verhalten bei der Amblyopia congenita. v. Graefes Arch. 68: 395 (1908)

Lythgoe R. J. and Tansley K.: The Relation of the Critical Frequency of Flicker to the Adaptation of the Eye. Proc. of Royal Soc. London Series B 105: 60 (1930)

Miles P. W.: Flicker Fusion Frequenca in Amblyopia ex Anopsia. Americ. J. Ophth. 32, 6: 225 (1949)
Flicker Fusion Fields. The Effect of Age and Pupil Size. Americ. J. Ophth. 33, 5: 769 (1950 a)
Flicker Fusion Fields. Technique and Interpretation. Americ. J. Ophth. 33, 7: 1069 (1950 b)
Flicker FusionsFields. Findings in Early Glaucoma. Arch. of Ophth. 43: 661 (1950 c)
Testing Visual Fields by Flicker Fusion. Arch. of Neur. and Psych. 65; 1: 39 (1951)

Monjé M. und Bernsdorff H.: Über die Lokaladaptation periodischer Lichtreize. Pflügers Arch. 255: 508 (1952)

Müller H.: Zur Frage der Beziehung zwischen Flimmer- und Lokaladaptation. Untersuchung an Personen mit angeborener Störung des Farbensinns. v. Graefes Arch. 151: 136 (1951)

Ottoson D. and Svaetichin G.: The Electrical Activity of the Retinal Receptor Layer. Acta Physiol. Scand. 29, 1: 31 (1953)

Phillips G.: Perception of Flicker in Lesions of the Visual Pathways. Brain 56: 464 (1933)

Piper H.: Arch. f. Physiol. 85 zit. bei Teräskeli s. d.

Riddell L. A.: Local Adaptation to Flicker and its Relation to Light Adaptation. J. of Physiol. 84: 111 (1935)
The Use of the Flicker Phenomenon in the Investigation of the Field of Vision. Brit. J. of Ophth. 20: 386 (1936)

Rupp: Über die Dauer der Nachempfindung auf den seitlichen Teilen der Netzhaut. Inaug. Diss. Königsberg 1869 zit. bei Exner bzw. Lohmann

Sachs E.: Die Aktionsströme des menschlichen Auges, ihre Beziehung zu Reiz und Empfindung. Klin. Wochenschr. 8: 136 (1929)

Schafhäutl: Abbildung und Beschreibung des Universal-Photometers 1855 zit. bei R. Granit 1936

Sloan L. L.: Instruments and Technics for the Clinical Testing of Light Sense. An Apparatus for Studying Regional Differences in Light Sense. Arch. of Ophth. 22: 233 (1939)

Speiser S.: Über die Beeinflussung der kritischen Flimmerfrequenz durch verschieden weite Pupillen. Ophthalmologica (Basel) 116: 357 (1948)

Svaetichin G.: Receptor Mechanisms for Flicker and Fusion. Acta Physiol. Scand. 39: Suppl. 134 p 47 (1956) Stockholm

Teräskeli H.: Untersuchungen über die Amblyopie ohne Spiegelbefund bei schielenden und nichtschielenden Augen mittelst der Flimmermethode. Acta Soc. Med. Fenn. Duodecim Ser. B 19, 3: 1 (1934)

Tschermak A.: Licht- und Farbensinn in Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie von Bethge-Bergmann-Embden-Ellinger, Springerverlag Berlin 1929 Band 12, Teil 1, p 421-478

Wadenstein L.: Flimmerelektroretinographische Untersuchungen bei Schwachsichtigkeit. Hamburger Symposion "Elektroretinographie" 1956; Biblioth. Ophth. S. Karger Basel-New-York 1957 p 132ff

Wedel A.: Die Ermüdung im Spiegel des Auges. Mschr. f. Feinmechanik und Optik 75: 113 (1958)

Weekers R. et Roussel F.: Introduction à l'étude de la fréquence de fusion en clinique. Ophthalmologica (Basel) 112: 305 (1946)

Hosemann H.: Die Grundlagen der Statistischen Methoden für Mediziner und Biologen. Thieme Stuttgart 1949

Lebenslauf

Am 3.6.1935 wurde ich als Sohn des Zahnarztes Dr. Günther Pesch und seiner Ehefrau Irma in Drossen bei Frankfurt an der Oder geboren. 1940 zogen meine Eltern nach Bromberg in Westpreußen um, wo ich eingeschult wurde und die Volksschule absolvierte. 1945 wurde unsere Familie infolge der Kriegsereignisse nach Hamburg vertrieben; dort wurde ich in die Matthias Claudius Schule in Wandsbek eingeschult und an dieser Anstalt bestand ich im Frühjahr 1954 die Reifeprüfung.

Zum Sommersemester 1954 wurde ich an der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin immatrikuliert. Im Herbst 1956 bestand ich in Berlin die Ärztliche Vorprüfung. Das folgende Wintersemester über studierte ich in Berlin, darauf ein Jahr lang in Österreich und zwar in Innsbruck und in Graz. Dann kehrte ich nach Berlin zurück, wo ich im September 1960 die Ärztliche Prüfung bestand.